Aus dem Hygiene-Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. Richard-Ernst Bader

INTENSITÄT ULTRAVIOLETTER STRAHLUNG ZUR LUFTENTKEIMUNG

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Theodor Müller
aus Ballendorf

1977

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41523702_0035

Aus dem Hygiene-Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. Richard-Ernst Bader

INTENSITÄT ULTRAVIOLETTER STRAHLUNG ZUR LUFTENTKEIMUNG

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Theodor Müller
aus Ballendorf

1977

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. med. R. Jacob
Berichterstatter: Professor Dr. med. R.-E. Bader

Mein ganz besonderer und herzlicher Dank gilt meinem verehrten Lehrer,Herrn Professor Dr.med. Richard-Ernst Bader. Er überließ mir freundlicherweise das Thema zu dieser Dissertation und gewährte mir gute Arbeitsmöglichkeiten im Hygiene-Institut Tübingen sowie Geduld und hilfreiche Beratung.

Danken möchte ich auch den Leitern der Kliniken und der Pockenisolierstation Gültstein,die mir bereitwillig die Untersuchung ihrer ultraviolett-bestrahlten Räume erlaubten.

Meinen Eltern, denen ich die meisten Voraussetzungen für meine bisherige Ausbildung verdanke, sei diese Arbeit gewidmet.

Tübingen,1977 ,Theodor Müller .

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
1.1 Einteilung der UV-Strahlung	1
1.2 Erzeugung von UV-Strahlung	2
1.3 Eigenschaften, Wirkungen, Anwendung	2
1.4 Luftentkeimung durch UV-Strahlen	4
1.5 Beurteilung der Luftentkeimung	5
1.6 Fragestellung	6
2. Methodik	7
2.1 Das Meßgerät	7
2.2 Maßeinheiten	9
2.3 Durchführung der Messungen	10
2.4 Einteilung der Meßwerte	12
3. Ergebnisse	21
4. Besprechung der Ergebnisse	111
4.1 Bewertung der räumlichen Messungen	111
4.2 Bewertung der Bestückung	112
4.3 Bewertung der Alterung	116
4.4 Fehlerdiskussion	117
4.5 Beantwortung der Einleitungsfragen	120
4.6 Überlegungen und Vorschläge	121
5. Zusammenfassung	124
6. Literatur	126

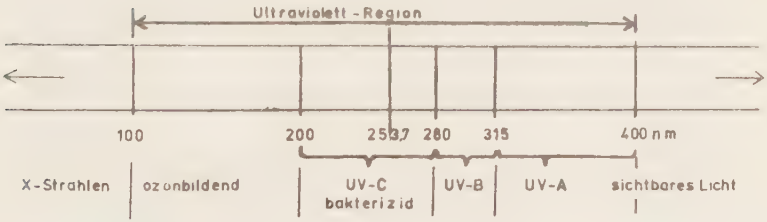
1. EINLEITUNG

1.1 Einteilung der UV-Strahlung

Die ultravioletten Strahlen wurden im Jahre 1801 durch J.W.Ritter entdeckt (Meyer et al.,1949).Sie bilden mit den sichtbaren Strahlen (400 nm- 800 nm) und den infraroten Strahlen (> 800 nm) das Gebiet der optischen Strahlen.Röntgenstrahlen beziehungsweise Rundfunkwellen liegen jenseits der optischen Strahlen,gehören aber, wie diese, zu den elektromagnetischen Strahlen. Im medizinischen Schrifttum ist die Einteilung in drei Gebiete gebräuchlich (Schulze et al.,1977):

UV-A 315 nm bis 400 nm
UV-B 280 nm bis 315 nm
UV-C 200 nm bis 280 nm .

Abb. 1 Spektrum der UV-Strahlung (verändert nach Original Hanau,ohne Jahr,b).



1.2 Erzeugung von UV-Strahlung

UV-Strahlung läßt sich auf zwei verschiedene Arten erzeugen.Man benutzt entweder die Strahlung hoch erhitzter fester Körper(Temperaturstrahler) oder elektrisch angeregte Gase oder Dämpfe (Gasentladungsstrahler).Zu den Temperaturstrahlern gehören der Kohlelichtbogen, die Funkenstrecke und die Sonne,zu den Gasentladungsstrahlern gehören Quecksilber-Niederdruck- und-Hochdrucklampen,Wasserstoff- und Edelgasentladungslampen (zum Beispiel Xenon-Höchstdrucklampen).

Nach Köchel(1954) erfand Küch 1906 die Quecksilber-Dampflampe.Sie ist eine wichtige Quelle für UV-Strahlung.

1.3 Eigenschaften,Wirkungen,Anwendung.

Nach Meyer et al.(1949) entsprechen UV-Strahlen in ihren physikalischen Eigenschaften weitgehend den sichtbaren Strahlen,das heißt,sie folgen den Gesetzen der Optik mit Reflexion,Brechung,Streuung und Absorption.

Zu den physikalischen Wirkungen gehören Erwärmung, Fluoreszenz,Phosphoreszenz und Photoeffekt,zu den biologisch-chemischen Vitamin-D- und Ozonbildung,Zellzerstörung,Erythem-,Konjunktivitis- und Krebserzeugung.

Fluoreszenz bedeutet Absorption einer kurzwelligen Strahlung in einem Stoff und Ausstrahlung einer längerwelligen Strahlung nach sehr kurzer Zeit als Fluoreszenzlicht.

Phosphoreszenz ist die Absorption einer Strahlung in einem Stoff und die langsame Abgabe als Phosphoreszenzlicht.

Beim Photoeffekt bewirkt die auf eine Metallfläche auffallende Strahlung den Austritt von Elektronen.

UV-Strahlen bewirken beim ungeschützten Menschen Erythem und Konjunktivitis. Nach Meyer et al.(1949) ist am Kaninchenauge die Konjunktivitiswirkung der am meisten interessierenden Wellenlänge von254 nm etwa zehnmal so groß wie der von 300 nm .

Krebse(Epitheliome und Sarkome)lassen sich zum Beispiel durch mehrmonatige Intensivbestrahlung von Ratten bei fast sämtlichen Versuchstieren erzeugen(Meyer et al.,1949).

Der Council on Physical Therapy (1943) erlaubt als höchste UV-Intensität bei Anwesenheit von Personen im Raum:

0,5 Mikrowatt/cm^2 bei 8 Stunden Bestrahlung in 24 Std.

0,1 Mikrowatt/cm^2 bei 24 Std. Bestrahlung in 24 Stunden.

Für die Ozonbildung gilt nach der gleichen Quelle: "Ultraviolet lamps for disinfecting purposes shall have under suitable ventilating conditions of a room a concentration of ozone not to exceed one part in ten million."

Die Komission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (DFG,1970)gibt für Ozon an: Maximale Arbeitsplatzkonzentration(MAK-Wert):0,1 ppm oder 0,2 mg/m^3.

Auch die zellzerstörende Wirkung von UV-Strahlen ist schon längere Zeit bekannt.Nach Köchel(1954) fanden schon 1877 Downes und Blount,daß beimpfte Nährböden bei schräger Bestrahlung mit Sonnenlicht keinen Bewuchs zeigten,während die Keime im Schatten des Glases sich normal vermehrten.Das Sonnenlicht muß demnach Strahlen enthalten,welche keimvernichtend wirken,jedoch durch gewöhnliches Glas absorbiert werden.

Die Zahl der getöteten Bakterien nimmt mit steigender Dosis zu,ist aber nicht proportional der Bestrahlungsdosis(Meyer et al.,1949).Die Treffertheorie(Eintreffertötung besagt:

1.Die Tötung einer Zelle ist ein plötzliches,unabstufbares Ereignis.

2.Bei Anwendung einer bestimmten Strahlenqualität wird der Prozentsatz der getöteten Zellen allein durch die Dosis bestimmt.

3. Die Anzahl der getöteten Zellen klingt mit wachsender Dosis exponentiell ab.

4. Die Halbwertdosis ist temperaturunabhängig.

Aus den Wirkungen ergeben sich zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten in der Lichttechnik,bei technischen Prozessen,Bleichen von Farbstoffen,Lackledererhärtung,Polymerisation von Kunststoffen,Lichtpauserei,technische Vitamin-D-Bildung,in der Medizin therapeutische Anwendung bei verschiedenen Hautkrankheiten und Bakterientötung in Luft und Flüssigkeiten.

1.4 Luftentkeimung durch UV-Strahlen

Nach Roemer (1969) steht heute zur Verringerung des Luftkeimgehaltes in geschlossenen Räumen neben der Verdampfung oder Verneblung chemischer Substanzen und der Luftfiltration insbesondere die Ultraviolettbestrahlung zur Verfügung.Man unterscheidet nach Wienhard (1977):

1." Direkte Ganzraumbestrahlung. Hierbei wird der gesamte Luftraum einer direkten Bestrahlung ausgesetzt."

2."Indirekte UV-Bestrahlung.Bei dieser Methode wird nur der oberhalb der Augenlinie(entsprechende Höhe 2,20m) liegende Luftraum bestrahlt."Luftzirkulation erhöht die Wirksamkeit.Diese Methode "wird in Räumen eingesetzt,in denen sich ständig oder zeitweise Personen aufhalten."

3.Entkeimung durch "Sterisol-Umluftgeräte"."Die verschmutzte Luft wird angesaugt,durch die im Gerät befindlichen ozonfreien UV-Strahler entkeimt und anschließend wieder in den Raum abgegeben."

4. UV-Strahlenschranken.Mit ihrer Hilfe "soll eine Keimverschleppung zwischen zwei Räumen weitgehend zu vermeiden sein."

5. Einsatz von UV-Strahlern in Klimaanlagen.-

Die keimtötende Wirkung ultravioletter Strahlen hängt nach Roemer (1969) von der Bestrahlungsdosis und der Wellenlänge,der Strahlungsempfindlichkeit der verschiedenen Keimarten und der Schutzwirkung einhüllender Substanzen ab.Nach Anderson (1947),Meyer et al.(1949) und Köchel (1954) wird sie vermindert durch hohe Luftfeuchtigkeit und hohen Gehalt der Luft an absorbierenden Staubpartikeln.

Sehr gute Erfolge in der Verhütung postoperativer Infektionen durch Ganzraumbestrahlung in Operationsräumen(während der Operationen !)berichten Hart(1936) und Goldner et al.(1973).

1.5 Beurteilung der Luftentkeimung

Der Erfolg der Luftdesinfektion kann geprüft werden durch Bestimmen der lebenden Luftkeime vor und nach der Entkeimung.Dazu dienen zum Beispiel die folgenden Methoden (vergleiche Wallhäußer et al.,1967):

1. Die Sedimentationsplattenmethode.Im Untersuchungsraum werden sterile Nähragarplatten eine bestimmte Zeit lang offen aufgestellt,danach bebrütet und die gewachsenen Kolonien ausgezählt.

2. Die Waschflaschenmethode.Die Luftkeime werden durch Auswaschen einer bestimmten Raumluftmenge in Waschflaschen mit steriler Nährlösung aufgefangen. Anschließend kann die Keimzahl z.B. durch Ausgießen zu Keimplatten,Bebrütung und Auszählen der Kolonien bestimmt werden.

3. Die Membranfiltermethode. Gemessene Luftmengen werden durch spezielle Gelatinefilter gesaugt. (Gelatine soll das Austrocknen vegetativer Keime verhindern).Dann Bebrütung und Zählung der gewachsenen Kolonien.

4. Die Slit-Sampler-Methode."Dieses Gerät saugt die Luft an und leitet sie durch einen strichförmigen Düsenspalt auf eine sich langsam drehende mit Nähragar beschickte Petrischale (Ø etwa 20 cm). Die Platte wird anschließend bebrütet und die Keimzahl pro Sektor ermittelt."

1.6 Fragestellung

UV-Strahler werden heute in Operationssälen und Personenschleußen,Isolier- und Intensivstationen sowie in Laboratorien zur Luftdesinfektion eingesetzt.Das Ausmaß der Desinfektionswirkung hängt ab von der Art und Menge der abzutötenden Keime,von ihrer Verteilung als Schwebekörper,von der Luftfeuchtigkeit,von der Abmessung des zu entkeimenden Raumes,von Art und Leistung der Strahlenquelle,von der Wellenlänge der Strahlung,von der Gleichmäßigkeit der Bestrahlung und von der Luftbewegung (Meyer et al.,1949).

Durch die vorliegende Arbeit sollen folgende Fragen beantwortet werden:

Welche UV-Intensitäten wurden in Räumen mit Ganzraumbestrahlung gemessen,wie sind sie verteilt?

Wie sind die untersuchten Räume mit UV-Strahlern ausgestattet?

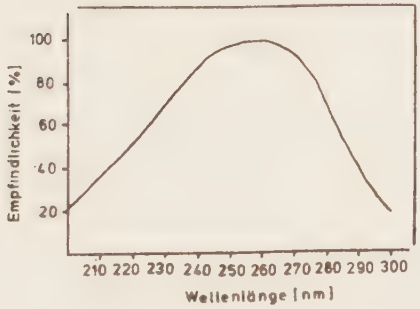
Welchen Leistungsabfall zeigen die UV-Strahler durch Alterung?

2. METHODIK

2.1 Das Meßgerät

Alle UV-Intensitätsmessungen wurden mit dem UV-C Meßgerät Steritest der Firma Original Hanau durchgeführt.Es besitzt eine Kadmium Hochvakuumzelle vom Typ 240LADCdV, deren Charakteristik aus Abb. 2 ersichtlich ist.Ihre höchste Empfindlichkeit liegt bei 250 nm-260 nm.Der Photostrom wird linear verstärkt.

Abb. 2 Charakteristik der Kadmium Hochvakuumzelle Typ 240 LADCdV (verändert nach Original Hanau, ohne Jahr,a).



Es ist mit einem kalottenförmigen Kopf ausgestattet, um von allen Seiten einfallende Strahlung zu erfassen. Nach einer persönlichen Mitteilung von Dr.Osterhammel vom 14.11.1973 zeigt die Strahlungsintensität die aus Abb.3 zu entnehmenden Werte.

Zum Gerät gehören 2 Vorsätze zur direkten Überprüfung von Strahlern mit einem Durchmesser von 27 mm beziehungsweise 17 mm.

Abb.3 Abhängigkeit(Empfindlichkeit in %) vom Einfallswinkel φ .Zum Vergleich Kurve der trig.Funktion cos φ (verändert nach Dr.Osterhammel,1973).

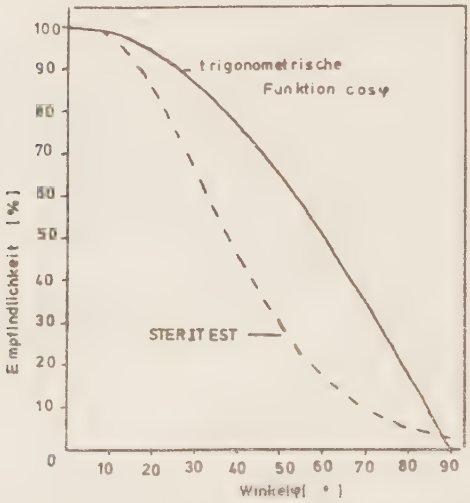


Abb. 4 Relative Intensität des Spektrums eines Sterisolstrahlers (verändert nach Original Hanau,ohne Jahr,a).

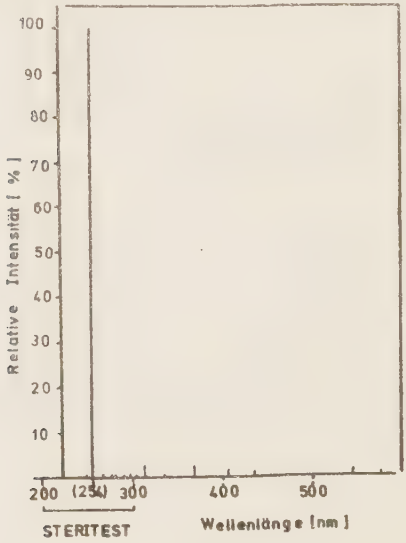


Abb. 4 zeigt die relative spektrale Energieverteilung eines Sterisolstrahlers als Beispiel einer Quecksilberniederdrucklampe.Der von dem Meßgerät erfaßte Bereich von 200 nm -300 nm ist markiert. Daraus geht hervor,daß nur wenige Spektrallinien aus dem Linienspektrum des Strahlers in den Empfangsbereich der Hochvakuumzelle fallen.Die Hauptlinie bei 254 nm hat etwa 85 % der Gesamtstrahlungsleistung des Strahlers(Schulze et al.,1977), so daß eine Bewertung der UV-Strahlung von 254 nm ohne weitere Umrechnung möglich ist.

Die Strahlungsintensitäten können in drei Meßbereichen erfaßt werden.Es gilt für

Meßbereich 1 :100Skalenteile entsprechen 242 μWatt/cm^2.
Meßbereich 2 :100 Skalenteile entsprechen 11 μWatt/cm^2.
Meßbereich 3 :100 Skalenteile entsprechen 2,5 μWatt/cm^2.

2.2 Maßeinheiten

Die Wellenlänge der UV-Strahlung wird meist in Mikrometer (μm)oder in Nanometer(nm) angegeben.

1 Mikrometer(μm)=1 Mikron(μ)=10^{-6}m =0,001 mm.
1 Nanometer(nm)= 1 Millimikron (m μ)=10^{-9}m=0,001 μm
=0,000001mm.

Die auf eine Fläche von 1 cm^2 pro Sekunde auftreffende UV-Energie heißt Bestrahlungsstärke B(=Strahlungsleistung). Sie wird in Watt/cm^2 oder in cal/cm^2.sek oder in erg/cm^2.sek oder in μJ/cm^2.sek gemessen.

Dazu gilt folgende Umrechnung:

1 Watt/cm^2 = 0,2390 cal/sek.cm^2
1Watt/cm^2 =1,0003 . 10^7 erg/sek.cm^2
1 μWatt/cm^2 = 1,003. 10 erg/sek.cm^2
1 μWatt/cm^2 = 1,003 μJ/sek.cm^2

Für viele von der Strahlung bewirkte Änderungen ist das Produkt aus der Bestrahlungsstärke B und der Einwirkdauer t, Bestrahlung oder Dosis D genannt,wichtig.Einheit Watt. sek/cm^2.

2.3 Durchführung der Messungen

Die Messungen der Bestrahlungsstärke wurden in der Zeit vom 1.Oktober 1973 bis 2. April 1974 in6 Kliniken, einer Pockenisolierstation und einem Institut mit Laboratoriumsräumen,insgesamt in 68 Räumen mit 170 Strahlern durchgeführt.

Messungen der Bestrahlungsstärke mit im ganzen Raum verteilten Meßpunkten,im Folgenden kurz als räumliche Messungen bezeichnet,wurden in 15 Räumen mit direkter Gesamtraumbestrahlung erhoben.Dazu wurden diese Räume durch etwa 60 Vertikalebenen aufgeteilt und etwa 4 600 mal einzelne UV-Bestrahlungsstärken gemessen.

Da Zahlenangaben über die Größe der Räume,die Anordnung der Strahler und die Lage der Vertikalebenen wenig anschaulich sind,wurden von allen Räumen Grundrißzeichnungen angefertigt.

Für die Messungen der Bestrahlungsstärken wurden nach folgenden Kriterien Vertikalebenen(VE) gezeichnet:
Die Vertikalebenen verlaufen etwa in gleichem Abstand von 1-2 m und parallel oder senkrecht zueinander.
Durch die Mitte jedes UV-Strahlers wird möglichst eine Vertikalebene gezogen,der Raum wird durch diese Anordnung ziemlich gleichmäßig erfaßt.
In die Vertikalebenen wurden Meßpunkte eingezeichnet. Der Abstand der Meßpunkte(Kreuzungspunkte eines Gitternetzes)entspricht 25 cm in Wirklichkeit.Die unterste Meßpunktreihe liegt 30 cm über dem Fußboden(Bewegungsfreiheit zur Handhabung des Meßgeräts).
Die Messungen erfolgten nach einer Brenndauer der Strahler von mindestens 30 Minuten.Dauer der räumlichen Messungen etwa 2 Stunden pro Raum.Das Meßgerät wurde etwa 10 Minuten vorgeheizt.

Direktmessungen fanden in 68 Räumen an 170 Strahlern statt.Dabei wurden die jeweiligen Gerätevorsätze direkt auf die UV-Röhren aufgesetzt.Sie erfolgten meist nach Beendigung der räumlichen Messungen,wenn die Strahler schon über 2 Stunden in Betrieb waren. An jedem Strahler wurden mindestens 5 Messungen an verschiedenen Stellen durchgeführt(siehe Abb. 5 und Abb. 6).

Abb. 5 Reihenfolge und Lage der Meßpunkte bei der Direktmessung an UV-Röhren.

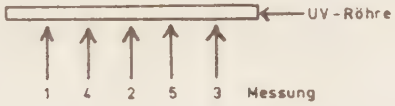
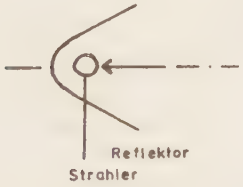


Abb. 6 Schnitt durch eine UV-Röhre mit Reflektor,Pfeil= Haltung des Meßgeräts in der optischen Achse des Reflektors.



Außer den Meßwerten wurden folgende zusätzliche Daten ermittelt:

1.Die Raummaße(Länge,Breite,Höhe).

2.Die Anzahl und Lage der Strahler,ihr Abstand zur Decke oder zum Boden und zu benachbarten Seitenwänden.

3.Die Art der Strahler (Fabrikat),der Durchmesser und die Länge der UV-Röhren.

4.Zum Teil die Lage von Türen,Fenstern und Mobiliar.

2.4 Einteilung der Meßwerte

Um die Fülle der Einzelmeßwerte bewerten zu können, wurden sie zu Meßwertegruppen zusammengefaßt.

Die Bestrahlungsstärken der räumlichen Messungen wurden in 4 Bereiche (I-IV) unterteilt. Dazu wurden in der Gleichung

$$\frac{\text{Dosis}}{\text{Zeit}} = \text{Bestrahlungsstärke}$$

im Zähler die zur Bakterientötung notwendigen UV-Dosen eingesetzt, im Nenner verschiedene Zeiten.

Tabelle 1
Schwellenwerte der bakteriziden Wirkung (in µWatt sek/cm^2) umgerechnet nach Ehrismann et al. (1932).
"λ = 254 nm, x = 1-10 % Abtötung, y = 90- 100% Abtötung.

Bakterium	x	y
B.prodigiosus	310	830
B.pyocyaneus	330	5500
B.coli	310	1550
Vibrio Finkler	770	-
Micrococ.cand.	770	6050
Staph.pyogen.aur.	550	4950
Saccharomyces	2750	16500 ."

Nach Wienhard (1977) ist zu einer 90% igen Abtötung "für die meisten Mikroorganismen eine Bestrahlungsdosis zwischen 2 und 10 mJ cm^{-2} ausreichend"(λ = 253,7 nm). Umgerechnet ist dies eine Bestrahlungsdosis von 2000 - 10000 µWatt sek/cm^2.

Luckiesh et.al.(1949) geben folgende Liste an (verändert):
Tabelle 2
"Dosages(Et) of germicidal energy to inactivate 50% and 95 % of various microorganisms irradiated in air and on the surface of culture medium.
E = microwatts of) 2537 nm energy per sq.cm.
t = exposure time in minutes ."

Bacteria	Dosages Et to Inactivate		
	Air	Surface	%
Mixed respiratory(from	0.4	-	50
nebulized saliva)	3.2	-	95
Mixed respiratory(from	2.5 +	-	50
sputtered saliva)	23.0	-	95
Staphylococococcus aureus	0.8	15.0	50
	5.2	80.0	95
Escherichia coli	2.1	28.0	50
	7.4	110.0	95
Alpha streptococcus	0.6	-	50
	3.2	-	95
Beta streptococcus	3.0	-	50
	11.5	-	95
Yeast			
Torula sphaerica	7.2	70	50
	50	170	95
Mold Spores			
Mucor mucedo	340	200	50
	1250	390	95
Penicillum chrysogenum	170	120	50
	1150	320	95
Aspergillus niger	1800	1300	50
	9000 +	3000 +	95

+ Estimated value.

Für die weiteren Berechnungen wird festgelegt:
Bei einer Tötungsrate von mehr als 90% werden Abtötungsdosen von mindestens 4000 µWatt sek/cm^2 und höchstens 20 000 µWatt sek/cm^2 für viele Keime benötigt.
Um dieseDosen zu erreichen,wurden folgende Zeiten angenommen:10 Minuten,1 Stunde,6 Stunden,12 Stunden,24 Stunden.
Daraus berechnen sich nun nach der Gleichung

Dosis / Zeit = Bestrahlungsstärke

die folgenden Bestrahlungsstärken:
Für die Dosis 4000 µWatt sek/cm^2
in 10 Min. 6,67 µWatt/cm^2
in 1 Std. 1,12 µWatt/cm^2
in 6 Std. 0,185 µWatt/cm^2
in 12 Std. 0,0928 µWatt/cm^2
in 24 Std. 0,0464 µWatt/cm^2

Für die Dosis 20 000 µWattsek/cm^2
in 10 Min. 33,3 µWatt/cm^2
in 1 Std. 5,55 µWatt/cm^2
in 6 Std. 0,925 µWatt/cm^2
in 12 Std. 0,463 µWatt/cm^2
in 24 Std. 0,2315 µWatt/cm^2

Eine große Anzahl von Meßwerten liegt bei 33,3 µWatt/ cm^2 oder darüber.Nur eine kleine Zahl liegt unter 1,12 µWatt/cm^2.
Die Werte 6,67 µWatt/cm^2 und 5,55 µWatt/cm^2 liegen so nahe zusammen,daß sie zu einem Bereich zusammengefaßt werden sollen.
Durch die Skaleneinteilung des Meßgerätes Steritest ergibt sich folgende Wertetabelle:(in µWatt/cm^2):
2,42(=1 Skalenteil),4,84, 7,26, 9,68, ...31,46, 33,88, 36,30 (= 15 Skalenteile)...
oder in gerundeten Werten: 2, 5, 7, 10,...31,34,36, ...
Daher erfolgte die folgende Bereicheinteilung der Meßwerte :

Bereich I umfaßt alle Werte X, für die gilt

$$X \geqq 34\ \mu Watt/cm^2\ ,$$

Bereich II umfaßt die Werte

$$34\ \mu Watt/cm^2 \rangle X \geqq 7\ \mu Watt/cm^2,$$

für Bereich III gilt

$$7\ \mu Watt/cm^2 \rangle X \geqq 2\ \mu Watt/cm^2\ ,$$

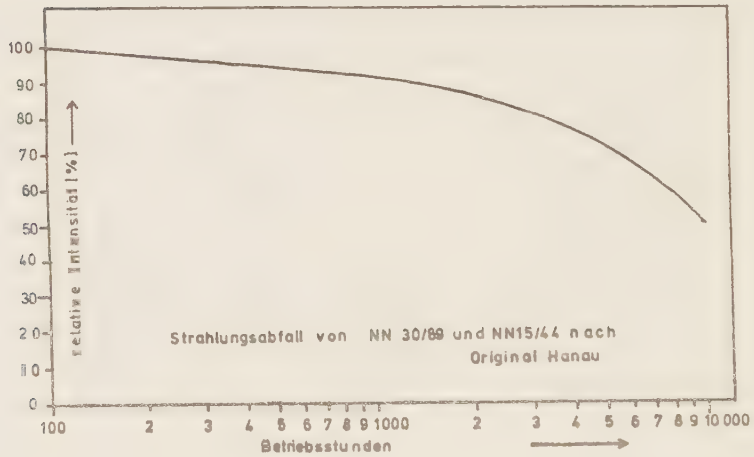
und für Bereich IV gilt

$$2\ \mu Watt/cm^2 \rangle X\ .$$

Umgekehrt bedeutet dies also:
Im Bereich I wird die Dosis 20 000 μWatt sek/cm^2 in weniger als 10 Minuten erreicht, die Dosis 4000 μWatt sek/cm^2 in weniger als 2 Minuten.
In Bereich II weden 20 000 μWatt sek/cm^2 in etwa 10 Min. bis weniger als 1 Std. erreicht, 4000 μWatt sek/cm^2 in etwa 2 Min. bis weniger als 10 Min..
In Bereich III werden 20 000 uWatt sek/cm^2 in etwa 1 Std. bis weniger als 6 Std., 4000 μWatt sek/cm^2 in etwa 10 Min. bis weniger als 1 Std. erreicht.
In Bereich IV werden 20 000 μWatt sek/cm^2 in etwa 6 Std. und mehr, 4000 μWatt sek/cm^2 in etwa 1 Std. und mehr erreicht.

Die Meßwerte der Direktmessungen werden in 3 Bereiche (A,B,C) unterteilt.

Abb.7 Alterungskurve für die Heißkathodenröhren NN 30/89 und NN 15/44 (verändert nach Original Hanau,ohne Jahr,b).



Die Firma Original Hanau gibt für die Heißkathodenröhren NN30/89 und NN 15/44 die aus Abb. 7 ersichtliche Alterungskurve an und empfiehlt,die Röhren bei einem Abfall auf 60 % des Anfangswertes (Nutzungsdauer) auszutauschen,der im allgemeinen nach 8000 bis 9000 Betriebsstunden erreicht sei.Die Brenndauer der Strahler liege dagegen viel höher,bei 20 000 Stunden und mehr.Da auch bei stark abgefallener UV-Strahlung die Strahler noch deutlich im blauen Anteil des sichtbaren Lichtes leuchten,ist dies kein Kriterium für eine ausreichende UV-Strahlung.

Die Betriebsanleitung zum Meßgerät Steritest fordert im Gegensatz dazu für die Prüfung von Sterisolstrahlern folgende Mindest-und Neuwerte:
Für Vorsatz 1 (17 mm Ø) und Messbereich I ist die unterste Grenze der Bestrahlungsstärke
bei Strahler NN 30/89 mindestens 46 Skalenteile (111 µ Watt/cm^2),Neuwert mindestens 65 Skalenteile (157 µWatt/cm^2),
bei Strahler NN15/44 mindestens 57 Skt.(138 µWatt/cm^2), Neuwert mindestens 81 Skt. (196 µWatt/cm^2).

Für Vorsatz 2 (27 mm Ø) und Meßbereich I ist die unterste Grenze der Bestrahlungsstärke bei Strahler NN 30/82 mindestens 49 Skt. (119 µWatt/cm^2), Neuwert mindestens 70 Skt.(169 µWatt/ cm^2) .

Tabelle 3
Zusammenstellung der geforderten Mindest-und Neuwerte für 4 UV-Röhrentypen(nach Original Hanau,ohne Jahr,c) und der gemessenen Höchstwerte für 3 UV-Röhrentypen (in Skalenteilen,Skt.).

Typ	gemessener Höchstwert (H)	Neuwert (N)	Mindest- wert(M)	Differenz N-M	N-Min% von M
2a	100	81	57	24	29,6
4a	99	65	46	19	29,3
4b	99,5	65	46	19	29,3
NN30/82	-	70	49	21	30,0

Für die anderen UV-Röhrentypen (1a,1b,3a,3b,3c,4c) lagen keine Vorschriften für Mindest-und Neuwerte vor. Ähnliche äußere Maße,ähnliche Herstellerbeschriftung für die Leistungsaufnahme und ähnliche Höchstwerte,die bei den Messungen gefunden wurden,dienten als Grundlage,um ähnliche Mindest- und Neuwerte festzulegen.

Es wurden miteinander verglichen:
1.Typ 1a und 1b mit Typ 2a.
2.Typ 3a,3b und 3c mit Strahler NN30/82 (Original Hanau).
3. Typ 4c mit Typ 4a und 4b.
Die Differenz Neuwert minus Mindestwert ist dann für Typ 1a und 1b 20,8% des Mindestwertes,für Typ 2a,3a, 3b,3c,4a,4b und4c etwa 30 % des entsprechenden Mindestwertes.

Tabelle 4
UV-Röhrentypen,gemessene Höchstwerte und geforderte Neu- und Mindestwerte (in Skalenteilen,Skt.).

Typ	gemessener Höchstwert(H)	Neuwert (N)	Mindest- wert(M)	Differenz N-M	N-M in % von M
1a	56,5	72	57	15	20,8
1b	72	72	57	15	20,8
2a	100	81	57	24	29,6
3a	97,5	70	49	21	30,0
3b	89,5	70	49	21	30,0
3c	55,5	70	49	21	30,0
4a	99	65	46	19	29,3
4b	99,5	65	46	19	29,3
4c	64	65	46	19	29,3

Für jeden untersuchten UV-Röhrentyp werden die Resultate der Direktmessungen eingeordnet in:
Bereich A: Werte über dem geforderten Neuwert,d.h. der Strahler ist neuwertig.
Bereich B: Werte in den geforderten Grenzen zwischen Neuwert und Mindestwert,d.h. der Strahler ist im Arbeitsbereich.
Bereich C: Werte unter dem geforderten Mindestwert,d.h. Strahler ist überaltert.
UV-Röhren im Bereich C sind in der UV-Ausstrahlung so stark abgefallen,daß sie gegen neue ausgetauscht werden sollten.

Für Strahler gleicher Leistung wurde der Volumen-Strahler-Index berechnet als dimensionsloser Quotient aus dem Raumvolumen (in m^3) geteilt durch die Anzahl der im Raum vorhandenen UV-Strahler (vergleiche Original Hanau,ohne Jahr,d). Er ist nur e i n Kriterium bei der Beurteilung der Raumbestückung.

In den Zeichnungen und Tabellen wurden folgende Abkürzungen verwendet:

Tabelle 5

Abkürzungen

1. Raum und Ausstattung

A1,A2,A3...bis...L7,L8,L9 = Raumbezeichnung

VE = Vertikalebene,mit Nummer,z.B. VE1,VE2,VE3...

RH= Raumhöhe F=Fenster

T = Tür T 279a= Tür zu Raum 279a

WB = Waschbecken L= Lampe

2.Lagebeziehungen

= ungefähre Nordrichtung

N—— S =links Norden,rechts Süden

W —— O = links Westen,rechts Osten,...

3. Strahler

HStr = Hängestrahler (abgehängter Strahler)

DStr = Deckenstrahler (direkt an der Decke befestigt)

WStr = Wandstrahler (an der Wand befestigt)

Str = Strahler, und + =Lage des Strahlers

WL = Wirksame Länge der Strahler (Elektrodenabstand)

BA = Bodenabstand des Strahlers

DA = Deckenabstand des Strahlers

direkt u D = Strahler direkt unter der Decke

4.Messungen

27 = Meßwert in μWatt/cm^2 über dem Meßpunkt

(27)= unsichere Messung $\dot{-}$ =Meßpunkt ohne Meßwert

$\overrightarrow{27}$ = Meßwert mit Richtungspfeil für die Haltung des Meßgerätes bei der Messung

Nicht verwendete Meßwerte.
Für die Beurteilung der Messung der Bestrahlungsstärke in Räumen ist eine gleichmäßige Verteilung der Meßpunkte im Raum erforderlich.
Aus diesem Grund wurden nicht alle erhobenen Meßwerte für die Zuordnung der räumlichen Messungen zu 4 Wertebereichen verwendet.
Im Einzelnen blieben folgende Messungen unberücksichtigt:
1. Alle Werte
der Vertikalebenen 1 und 3 in Raum A3 Labor
der Vertikalebenen 1 bis 6 in Raum A4 Labor
der Vertikalebene 1 in Raum A5 Labor
der Vertikalebene 3 in Raum B2 Operationssaal
der Vertikalebene 5 in Raum B3 Operationssaal
der Vertikalebene 4 in Raum B4 Operationssaal.
2.Alle Meßwerte einer vertikalen Meßwertspalte,die am Rand der Zeichnung der Vertikalebene(mit den einzelnen Meßwerten)durch 2 zusätzliche Punkte gekennzeichnet ist,zum Beispiel die 2. +3.,die5.+6.,die 8.+9. ... Spalte von Vertikalebene 2 in Raum A5 Labor.

3. ERGEBNISSE

Es wurden 9 verschiedene UV-Röhrentypen untersucht. Sie sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6
Einteilung der untersuchten UV-Röhrentypen.

Typ	Beschriftung
1a	Philips 57415 P/40 M 8 TUV 15 W
1b	Osram HNS 15 W
2a	Sterisol 1140 L 1 Original Hanau NN15/44 VK
3a	Philips (57413P/40) TUV 30 W
3b	Osram HNS 30 W
3c	Fabrikat nicht bekannt,Länge 82 cm,Durchmesser 27 mm
4a	Sterisol F 1137 C G2 Original Hanau NN 30/89 VK
4b	Sterisol F 1185 8K Original Hanau NN 30 89 /AK 216
4c	Sterisol F Original Hanau NN 30/80

Tabelle 7
Geprüfte UV-Röhren.

Typ	Länge (cm)	Durchmesser (mm)	Leistung Aufnahme (W)	Leistung Abgabe UV(W)	Anzahl	Reflektor
1a	45	27	15	-	2	mit
1b	45	27	15	-	6	mit
2a	33	17	15(?)	6	10	ohne
3a	82	27	30	-	78	mit
3b	82	27	30	-	46	mit
3c	82	27	-	-	6	mit
4a	78,5	17	30(?)	11	15	mit u. ohne
4b	78,5	17	30(?)	11	2	ohne
4c	78,5	17	30(?)	-	1	mit

Die Angaben zur Leistungsaufnahme wurden der Beschriftung der Röhren entnommen, die zur Leistungsabgabe im UV-Bereich (bei 254 nm) der Literatur (Original Hanau, ohne Jahr, b).

Tabelle 8

Übersicht der untersuchten Räume und Strahler

Raumbezeichnung	Volumen	Strahler			Volumen-Strahler-Index	Meß-ebenen
		Zahl	An-bring-ung	Typ		
	(m^3)					
Institut A						
A1 Flur	16,92	2	WStr	3a	8,46	5
A2 Arztzimmer	13,74	1	WStr	3a	13,74	4
A3 Labor	43,89	2	WStr	3a	21,925	6
A4 Labor	42,7	2	WStr	3a	21,38	6
A5 Labor	79,7	3	WStr	3a	26,566	4
A6 Labor	33,92	2	WStr	3a	16,96	4
Klinik B						
B1 Operationssaal	77,2	2	WStr	3a	38,6	4
B2 Operationssaal	88,3	2	WStr	3a	44,15	3
B3 Operationssaal	87,7	2	WStr	3a	43,85	4
B4 Operationssaal	77,0	2	WStr	3a	38,5	4
Pockenisolierstation C						
C1 Flur	22,75	4	DStr	4a	5,687	4
C2 Personenschleuse	9,68	2	DStr	4a	4,84	3
C3 Materialschleuse	12,32	2	DStr	4a	6,16	3
C4 Flurschleuse	29,4	2	WStr	4a	14,7	5
C5 Flur	14,05	1	WStr	4a	1405	3
C6 Arbeitsraum	17,30	2	WStr	4b	8,65	4
C7 Personenschleuse	9,36	2	DStr	4a	4,68	-
C8 Materialschleuse	15,80	2	DStr	4a	7,90	-
C9 Durchreiche	0,2102	6	Str	2a	-	-
C10 Durchreiche	0,2102	6	Str	2a	-	-

Tabelle 8 ,Fortsetzung

Raumbezeichnung	Volumen	Strahler			Volumen-Strahler-Index
		Zahl	Anbringung	Typ	
	(m^3)				
Klinik D		1	WStr	3a	
D1 Flur	63,7	2	HStr	3a	21,23
D2 Umkleideraum	33,2	2	WStr	3a	33,2
		1	HStr	3a	
D3 Umkleideraum	39,1	2	WStr	3a	13,03
		1	HStr	3a	
D4 Anästhesieraum	57,9	2	WStr	3a	29,95
D5 Raum	40,6	1	WStr	3a	40,6
D6 Operationssaal	144,2	2	WStr	3a	36,05
		2	DStr	3a	
D7 Waschraum	14,8	1	WStr	3a	14,8
D8 Operationssaal	86,4	4	WStr	3a	21,6
D9 Waschraum	45,5	2	WStr	3a	22,75
D10 Röntgenraum	27,4	1	WStr	3a	27,4
Klinik E					
E1 Raum	158,8	2	WStr	1a	-
E2 Operationssaal	133,0	4	WStr	3c	33,25
E3 Operationssaal	128,2	4	WStr	1b	-
E4 Operationssaal	262,0	4	WStr	1b	-
Klinik F					
F1 Flurschleuse	-	4	WStr	3b	-
F2 Raum	69,6	1	WStr	3b	69,6
F3 Operationssaal	139,0	5	HStr	3b	27,8
Klinikabteilung G					
G1 Operationssaal	52,1	2	WStr	3c	26,05
G2 Operationssaal	72,0	4	WStr	3b	18,0
G3 Operationssaal	76,6	4	WStr	3b	19,15
Klinikabteilung H					
H1 Operationssaal	124,5	5	WStr	3a	24,9
H2 Operationssaal	102,0	3	WStr	3b	23,o
		1	WStr	4c	

Tabelle 8 ,Fortsetzung

Raumbezeichnung	Volumen	Strahler			Volumen-Strahler-Index
		Zahl	An-bring-ung	Typ	
	(m^3)				
Intensivstation I					
I1 Raum	61,25	1	WStr	3b	61,25
I2 WC-Dusche	34,2	2	WStr	3b	17,1
I3 Spülraum	25,4	2	WStr	3b	12,7
I4 Sterilisationsraum	32,0	2	HStr	3b	16,0
I5 Geräteraum	69,5	3	WStr	3b	23,16
I6 Bad	41,95	2	WStr	3b	20,975
I7 Patientenzimmer	82,4	2	WStr	3b	41,2
I8 Spülraum	24,3	1	WStr	3b	24,3
I9 Patientenzimmer	111,0	2	WStr	3b	55,5
I10 Patientenzimmer	79,2	2	WStr	3b	39,6
I11 Flur	27,3	2	WStr	3b	13,65
I12 Flur	24,61	2	WStr	3b	12,305
I13 Umkleideraum	42,7	4	WStr	3b	10,675
Klinikabteilung K					
K1 Anästhesieraum	40,5	3	WStr	3a	20,25
K2 Waschraum	21,15	2	WStr	3a	10,575
K3 Operationssaal	80,5	4	WStr	3a	20,125
K4 Operationssaal	82,2	4	WStr	3a	20,55
Klinik L					
L1 Eingangsschleuse	21,0	2	WStr	3a	10,5
L2 Vorbereitungsraum	39,2	1	WStr	3a	39,2
L3 Anästhesieraum	35,22	1	WStr	3a	35,22
L4 Operationssaal	80,2	3	WStr	3a	26,733
L5 Waschraum	41,6	1	WStr	3a	41,6
L6 Operationssaal	70,5	3	WStr	3a	23,5
L7 Operationssaal	74,0	3	Str	3a	24,66
L8 Waschraum	20,2	1	WStr	3a	20,2
L9 Anästhesieraum	32,3	1	WStr	3a	32,3

Die folgenden Abbildungen zeigen die Grundrisse und die Vertikalebenen mit den Meßwerten (in μWatt/cm^2).

Abb. 8 A1 Flur,Grundriß

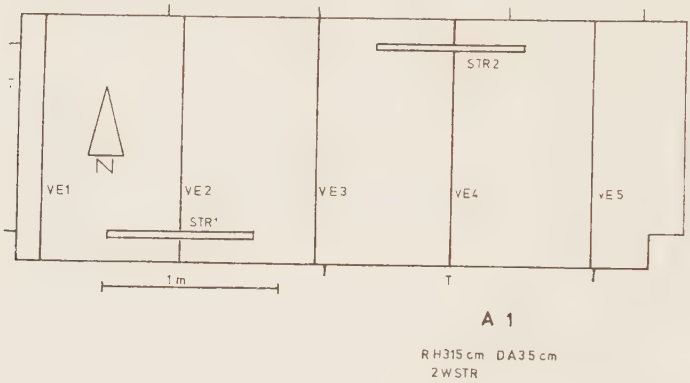


Abb. 9 A1 Flur,Vertikalebene 1

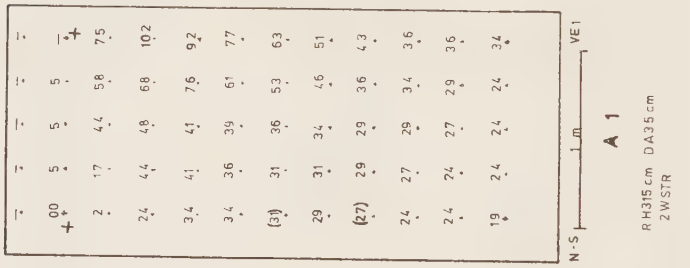


Abb. 10 A1 Flur,Vertikalebene 2

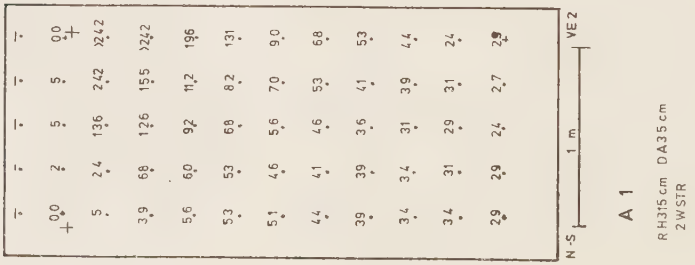


Abb. 11 A1 Flur, Vertikalebene 3

Abb. 12 A1 Flur, Vertikalebene 4

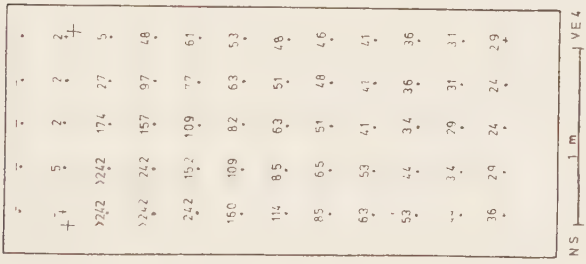


Abb. 13 A1 Flur, Vertikalebene 5

Abb.14 A2 Arztzimmer,
Grundriß

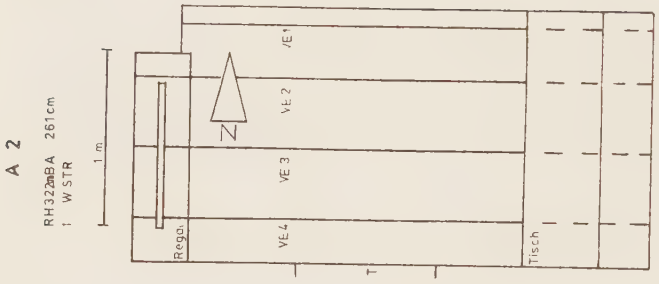


Abb.15 A2 Arztzimmer,Vertikalebene 1

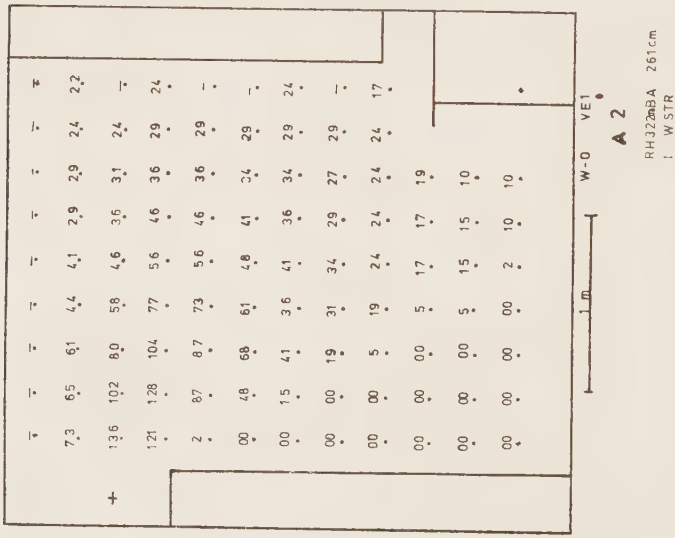


Abb.16 A2 Arztzimmer,Vertikalebene 2

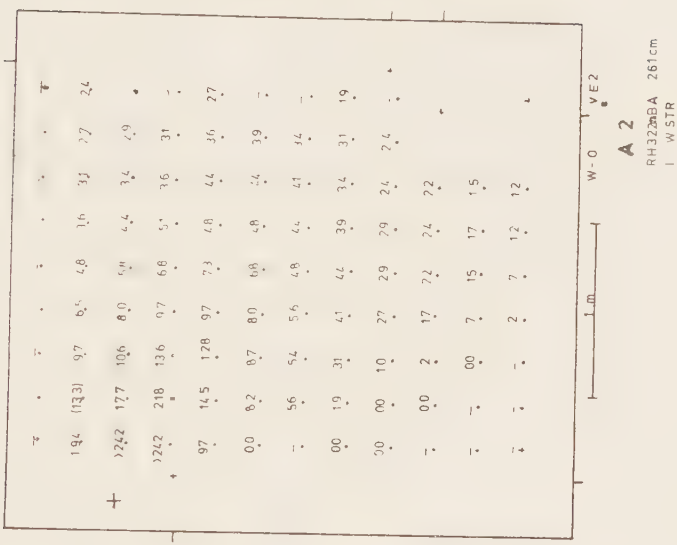
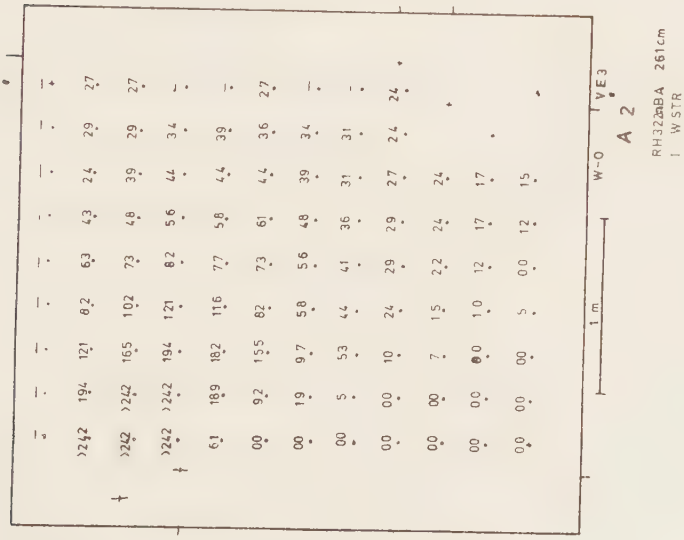


Abb.17 A2 Arztzimmer,Vertikalebene3



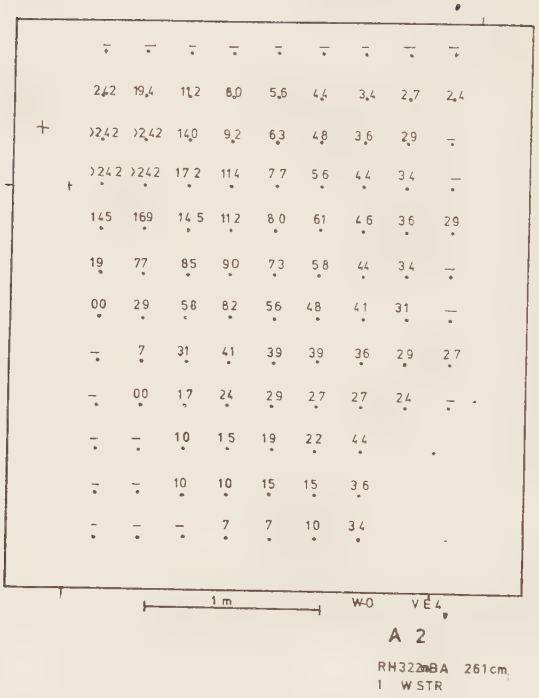


Abb.18 A2 Arztzimmer, Vertikalebene 4

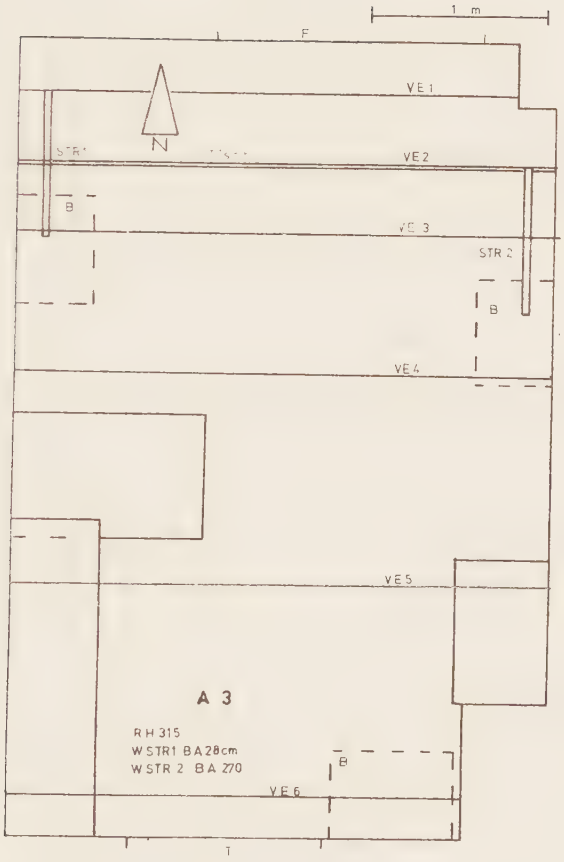


Abb.19 A3 Labor, Grundriß

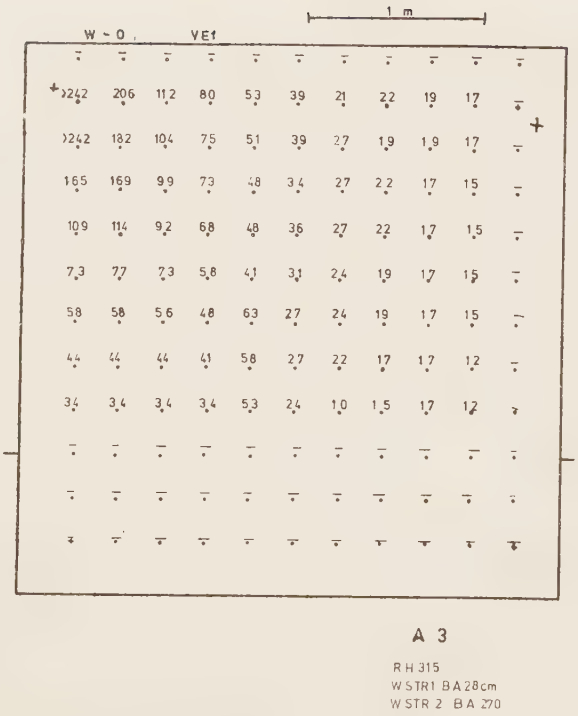


Abb.20 A3 Labor, Vertikalebene 1

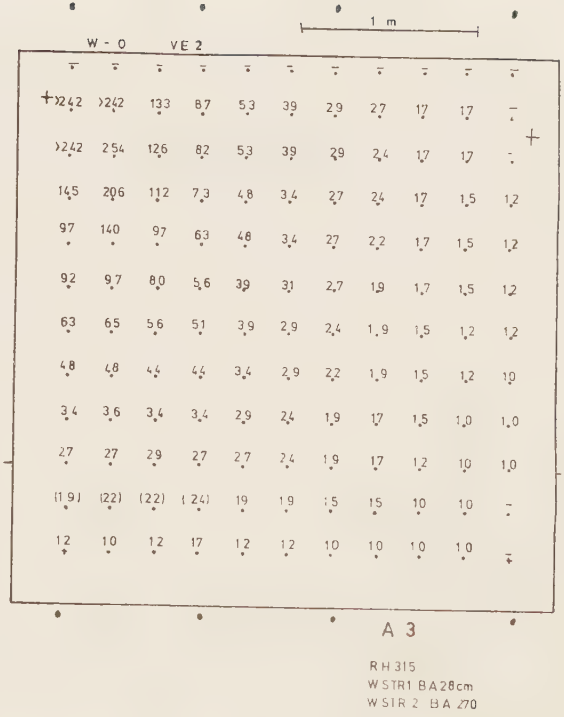


Abb.21 A3 Labor, Vertikalebene 2

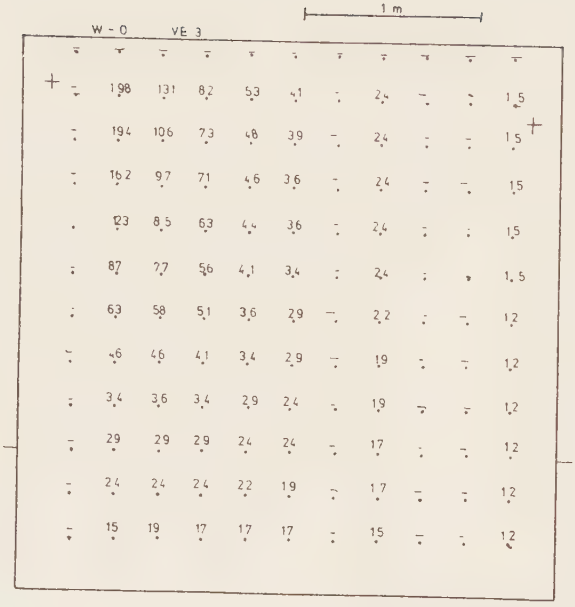


Abb.22 A3 Labor, Vertikalebene 3

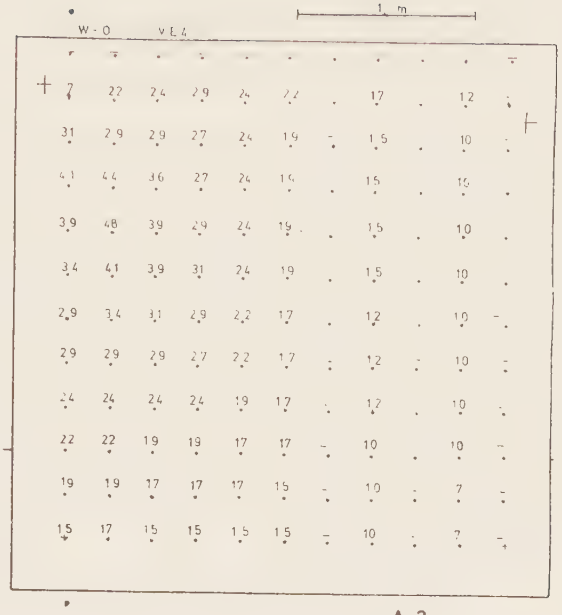


Abb.23 A3 Labor, Vertikalebene 4

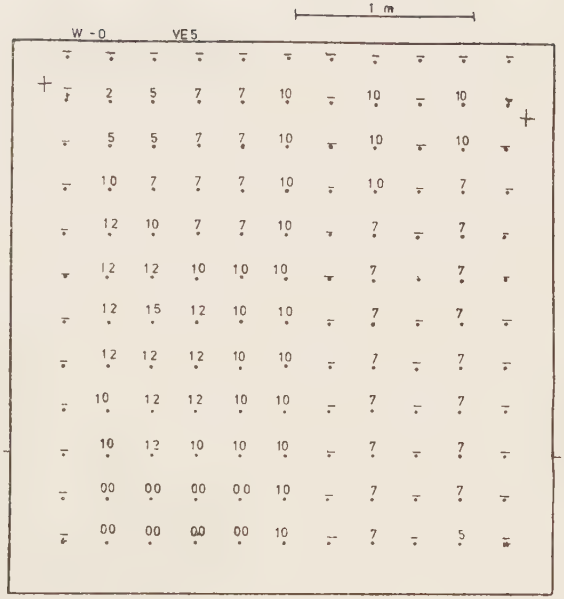


Abb.24 A3 Labor, Vertikalebene 5

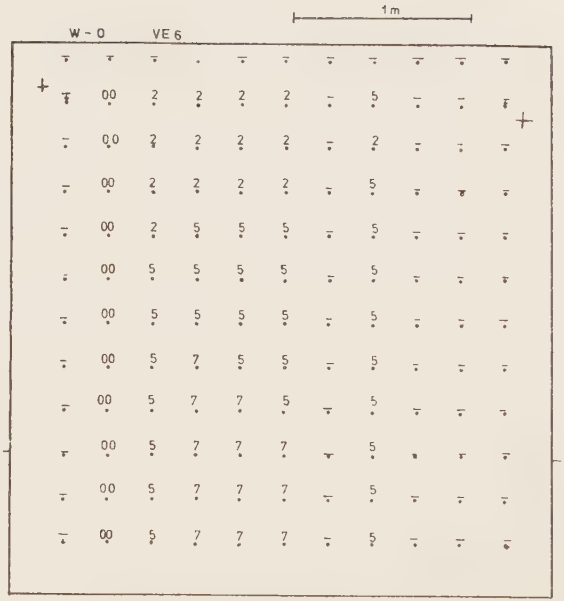


Abb.25 A3 Labor, Vertikalebene 6

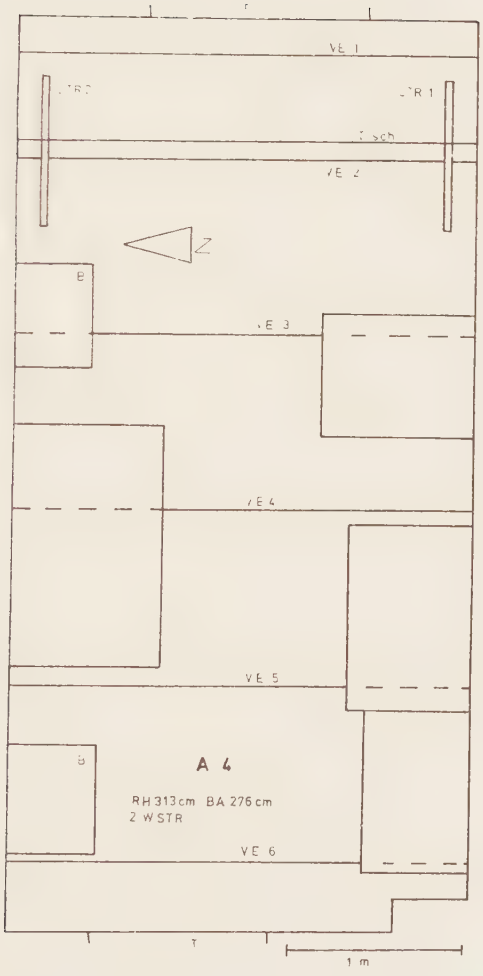


Abb.26 A4 Labor, Grundriß

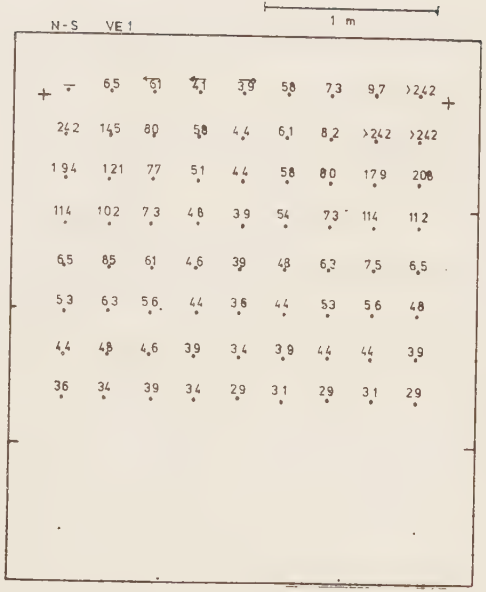


Abb.27 A4 Labor, Vertikalebene 1

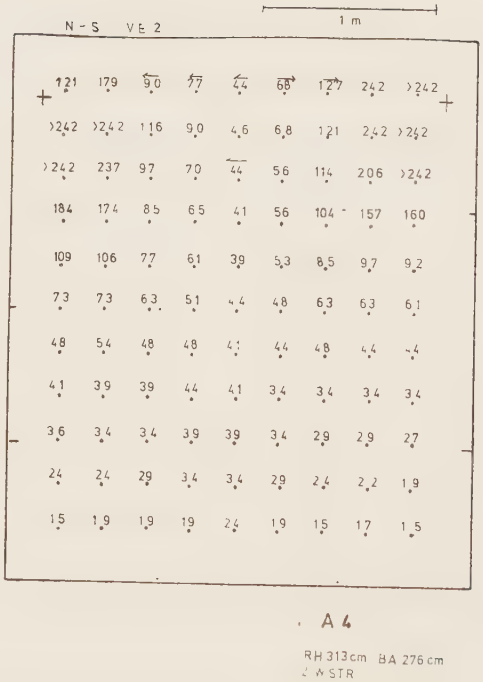


Abb.28 A4 Labor, Vertikalebene 2

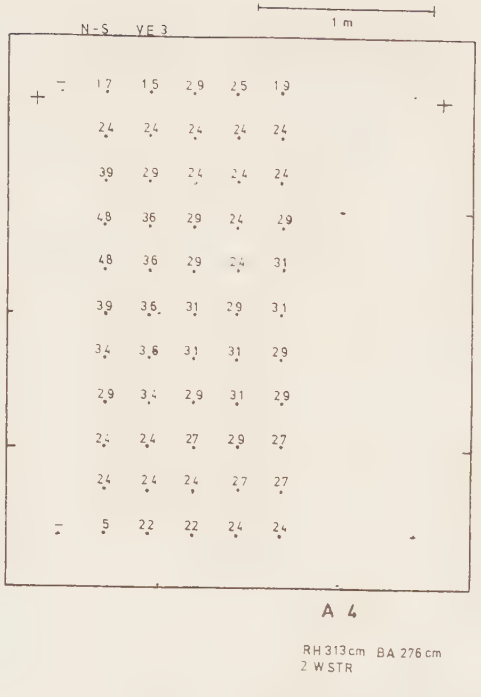


Abb.29 A4 Labor, Vertikalebene 3

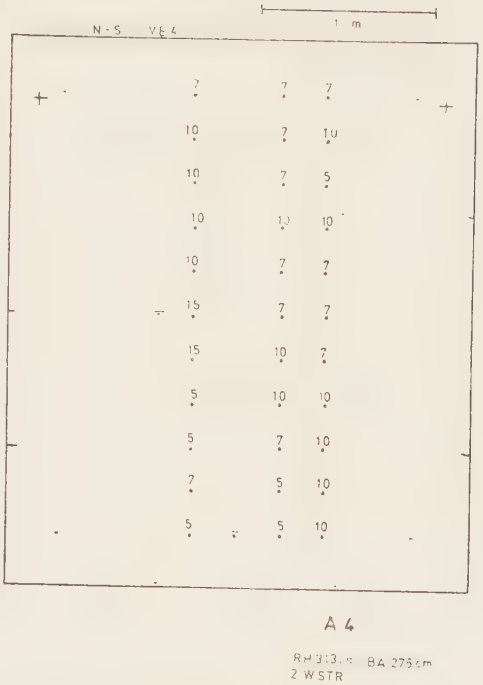


Abb.30 A4 Labor, Vertikalebene 4

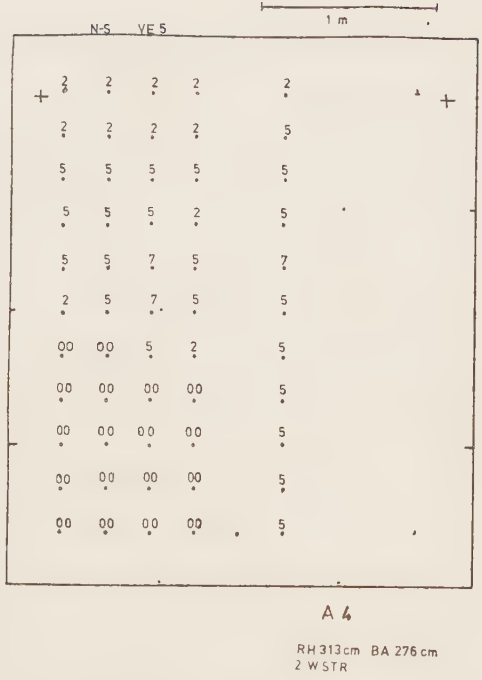


Abb.31 A4 Labor, Vertikalebene 5

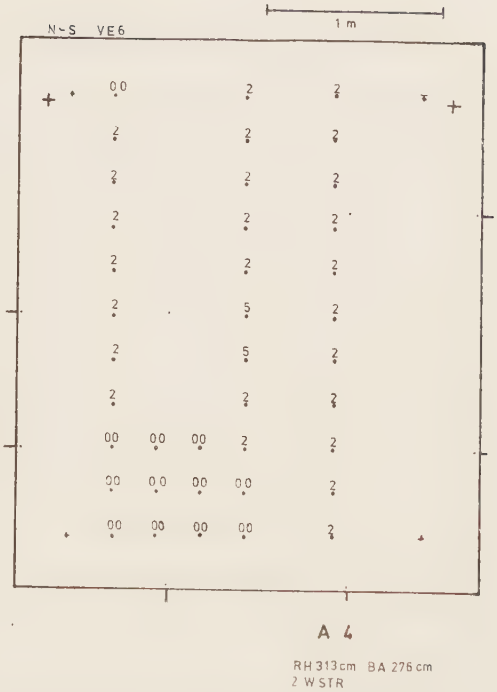
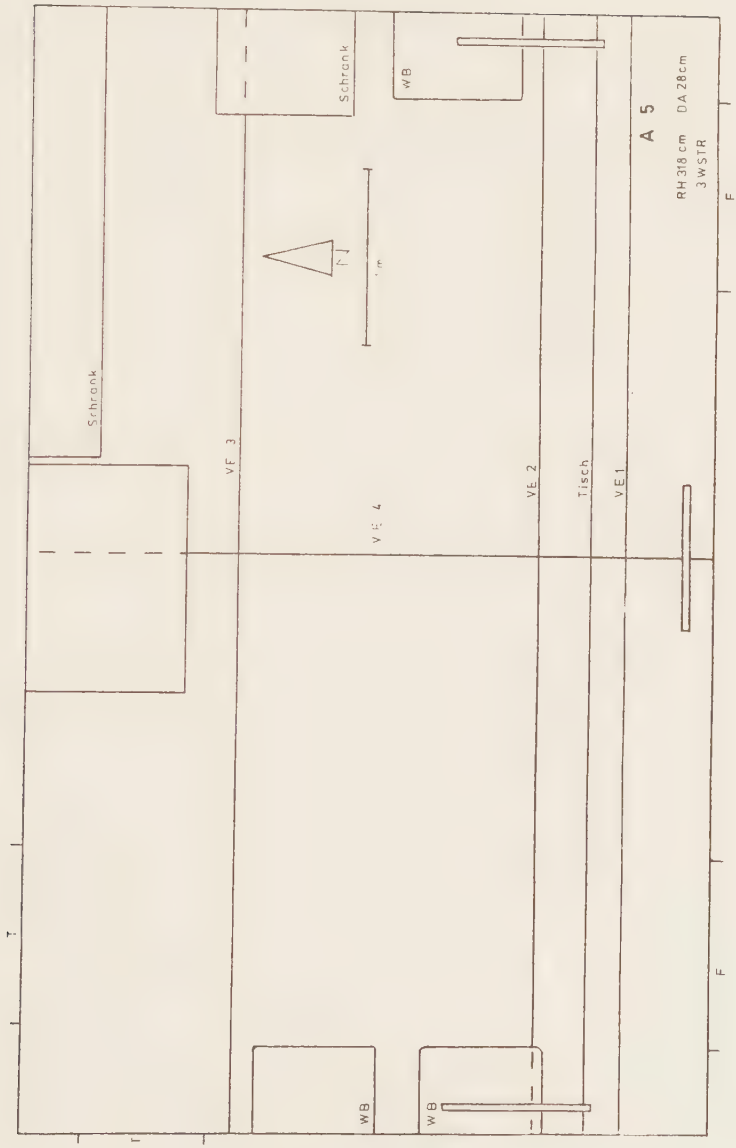


Abb.32 A4 Labor, Vertikalebene 6

Abb.33 A5 Labor, Grundriß



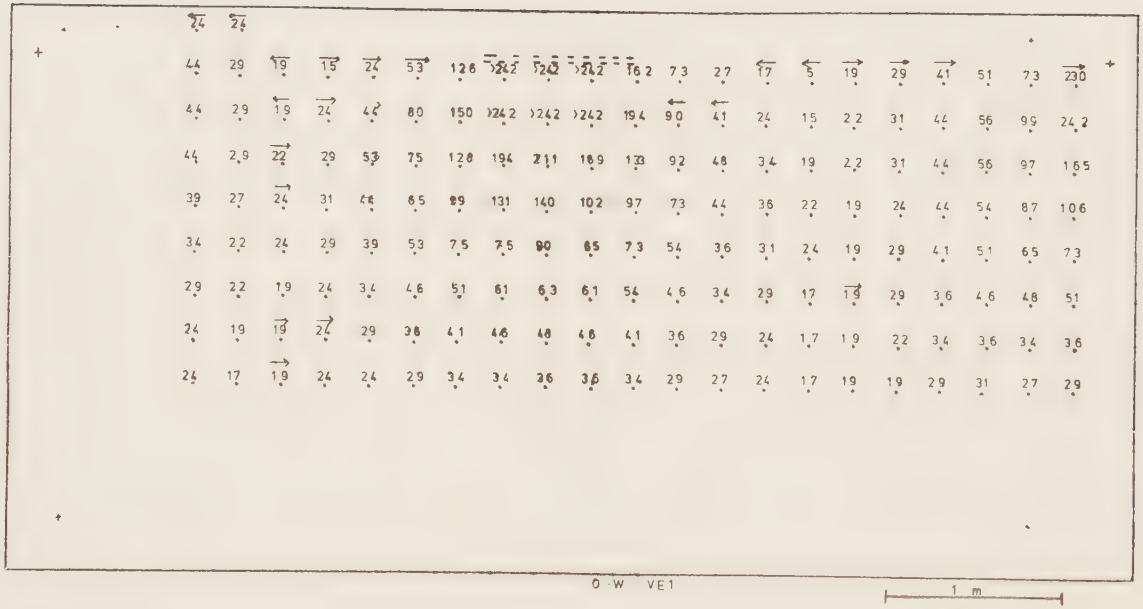


Abb.34 A5 Labor, Vertikalebene 1

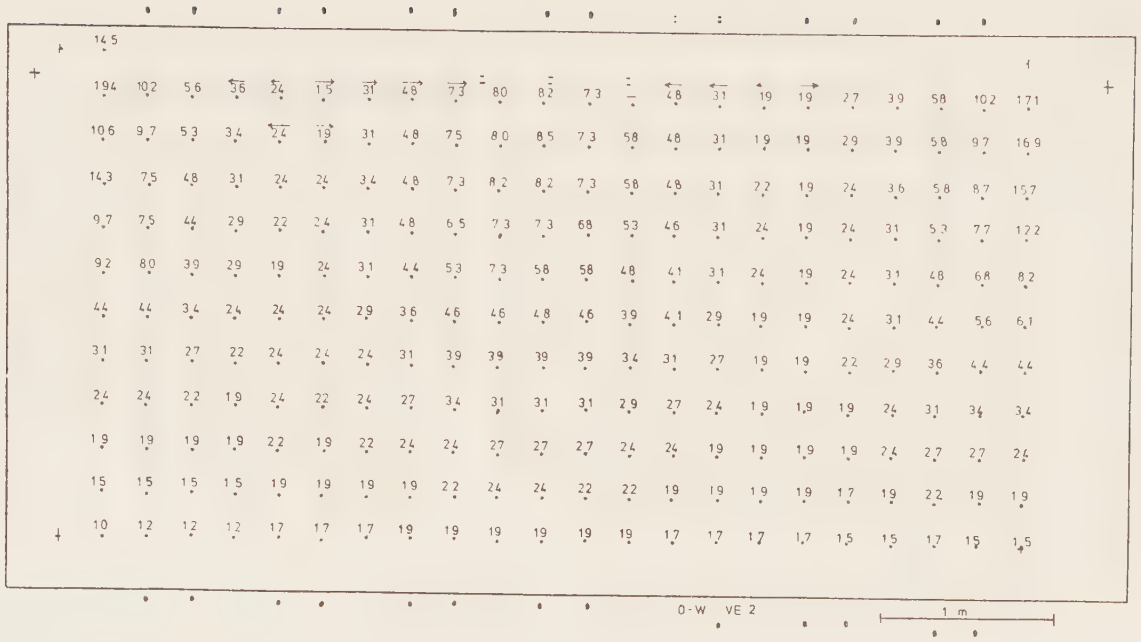


Abb.35 A5 Labor, Vertikalebene 2

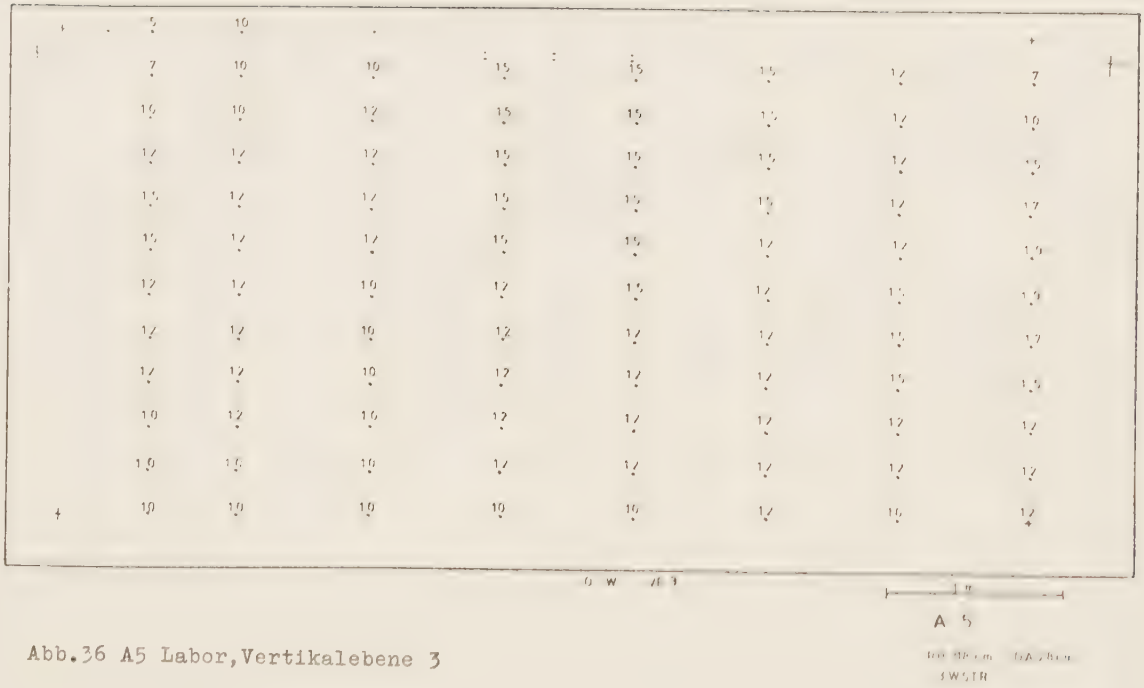
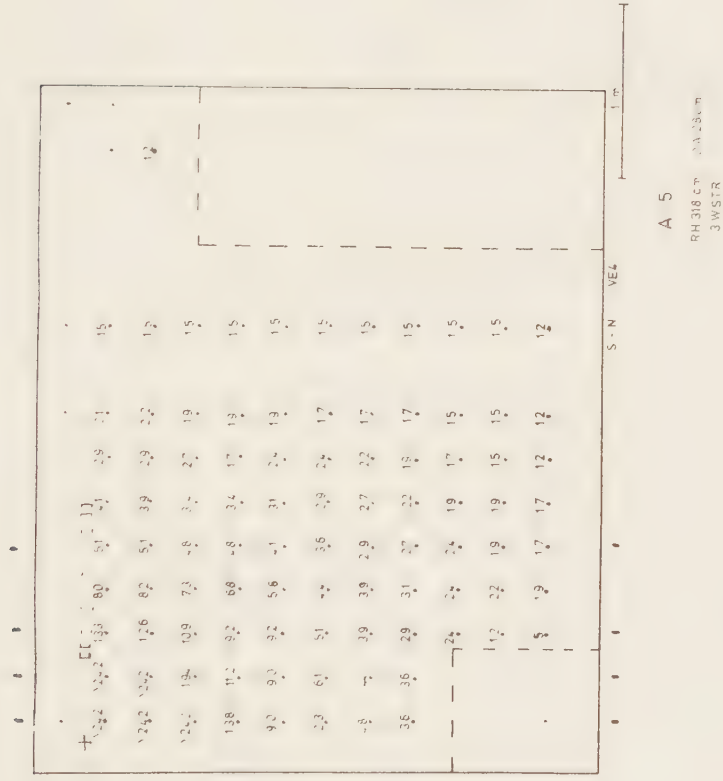


Abb.36 A5 Labor,Vertikalebene 3

Abb.37 A5 Labor,Vertikalebene 4



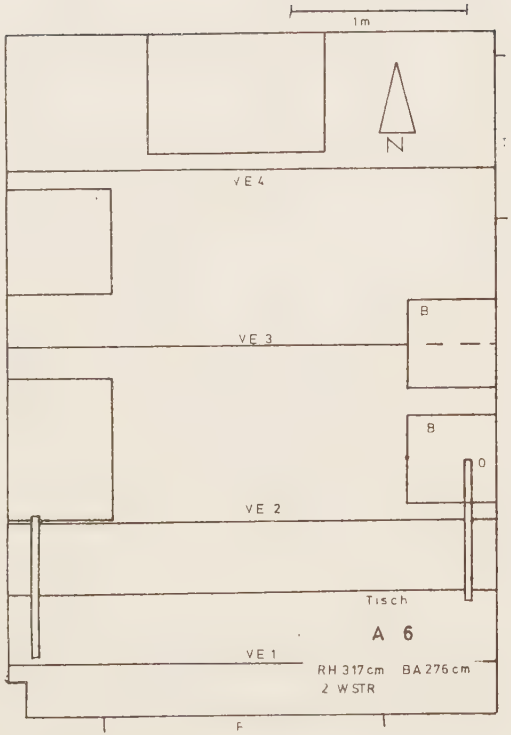


Abb.38 A6 Labor, Grundriß

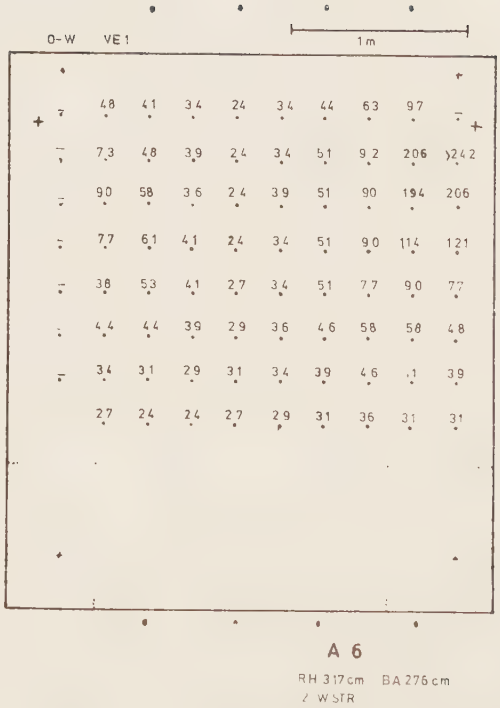


Abb.39 A6 Labor, Vertikalebene 1

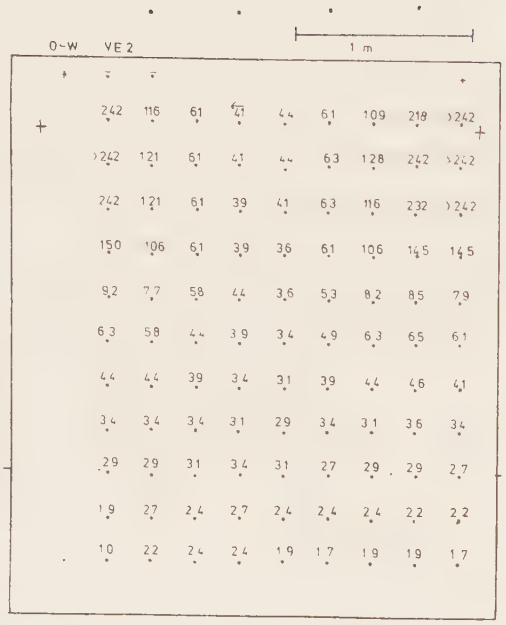


Abb.40 A6 Labor, Vertikalebene 2

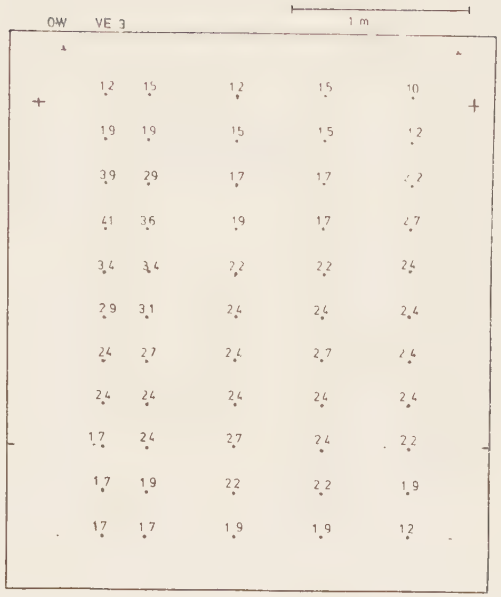
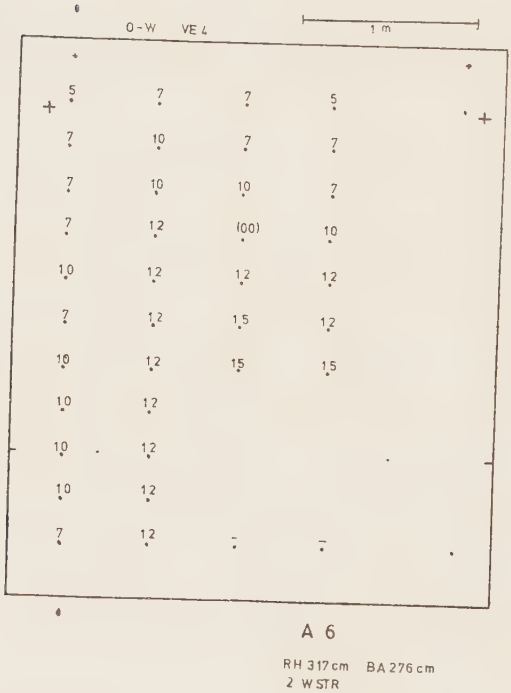


Abb.41 A6 Labor, Vertikalebene 3

Abb.42 A6 Labor,Vertikalebene 4



A [illegible] rationssaal, Grundriß

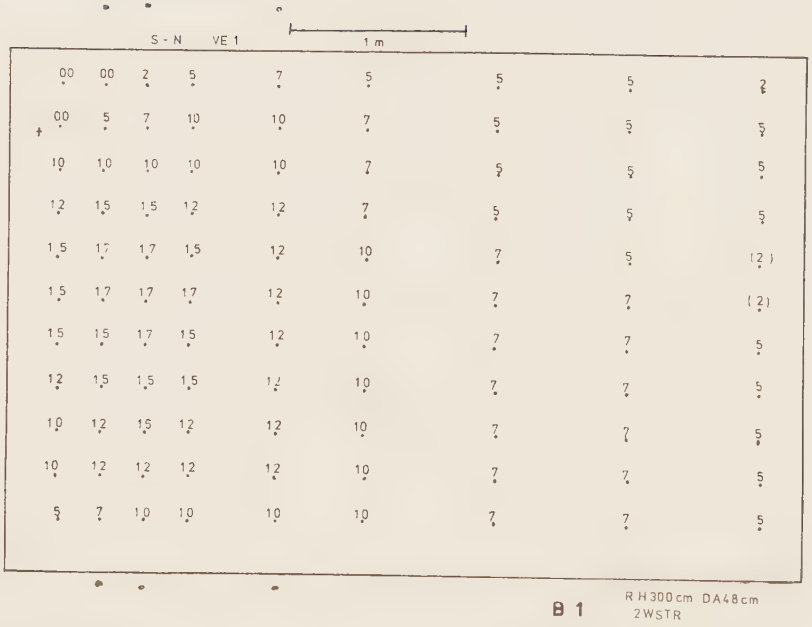


Abb.44 B1 Operationssaal, Vertikalebene 1

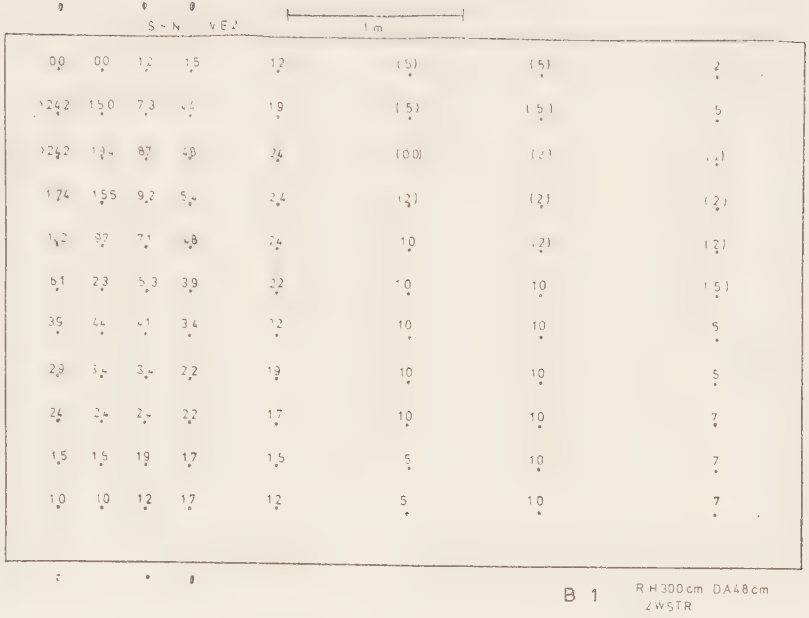


Abb.45 B1 Operationssaal, Vertikalebene 2

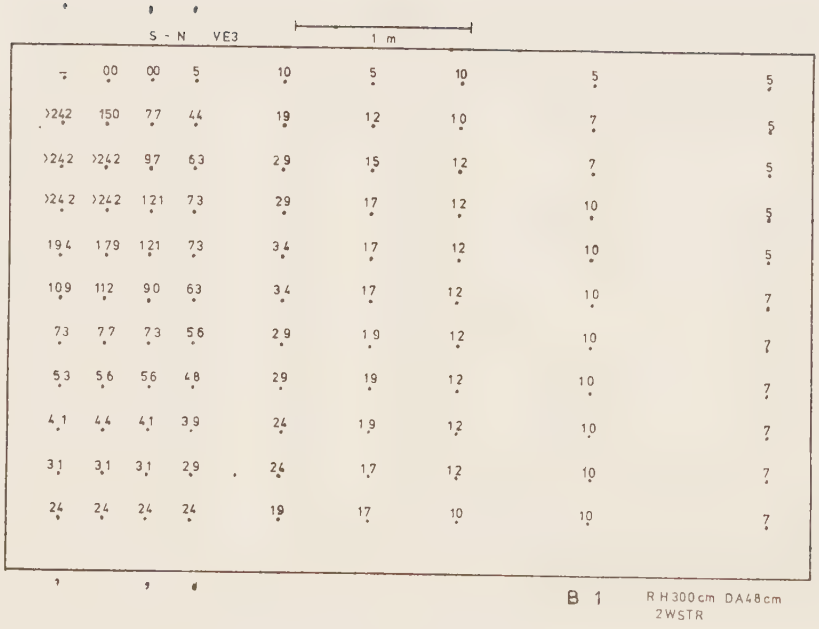


Abb.46 B1 Operationssaal,Vertikalebene 3

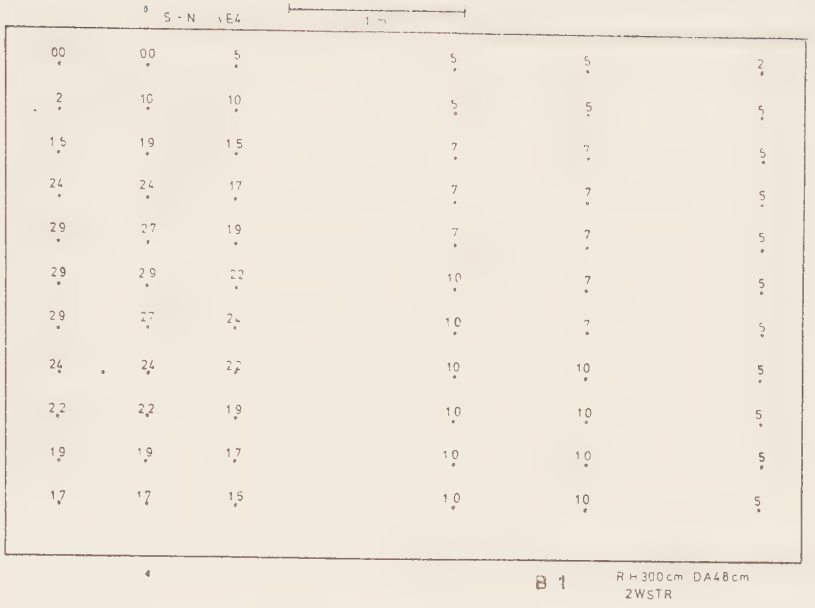
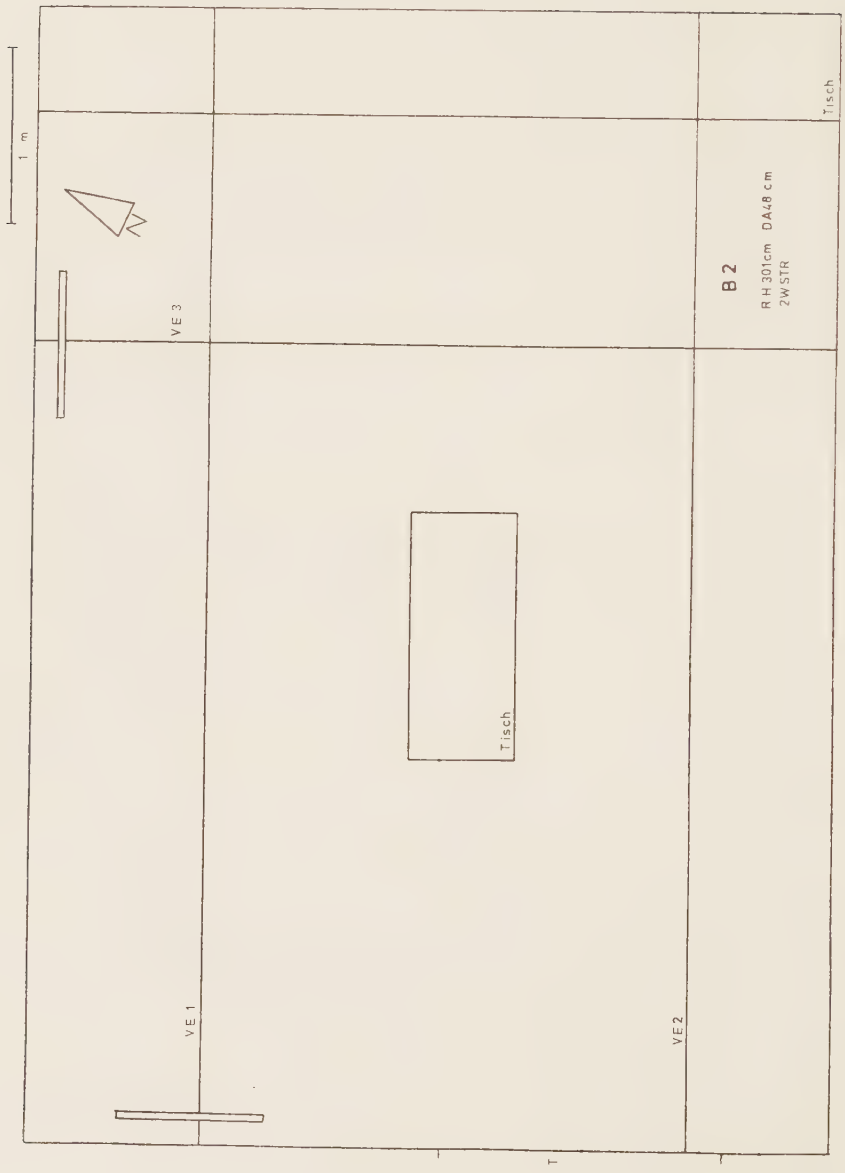


Abb.47 B1 Operationssaal,Vertikalebene 4

Abb.48 B2 Operationssaal,Grundriß



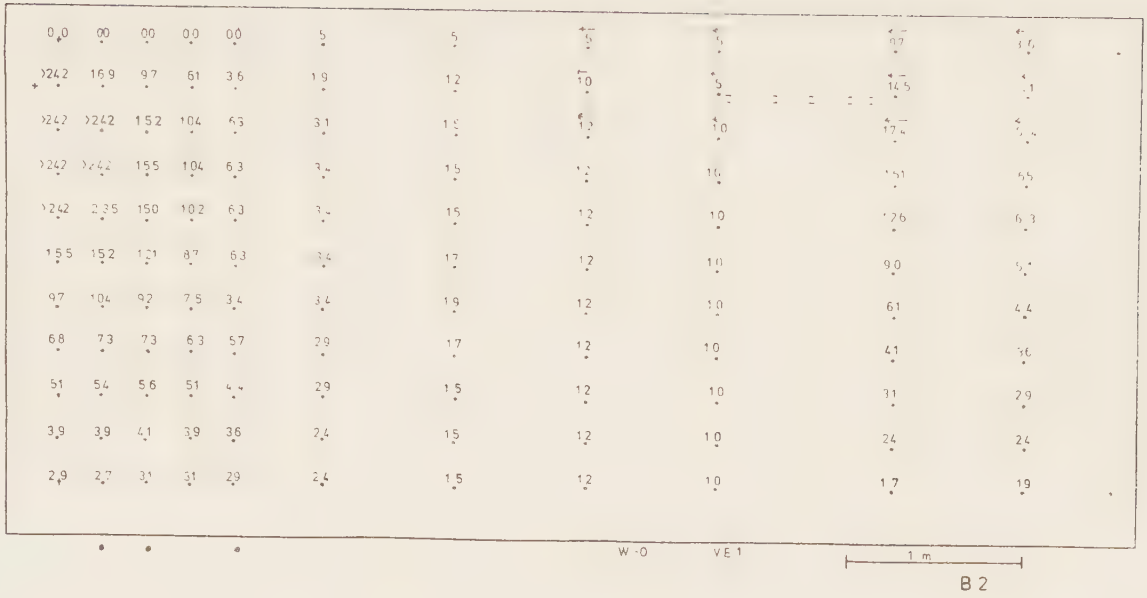


Abb.49 B2 Operationssaal, Vertikalebene 1

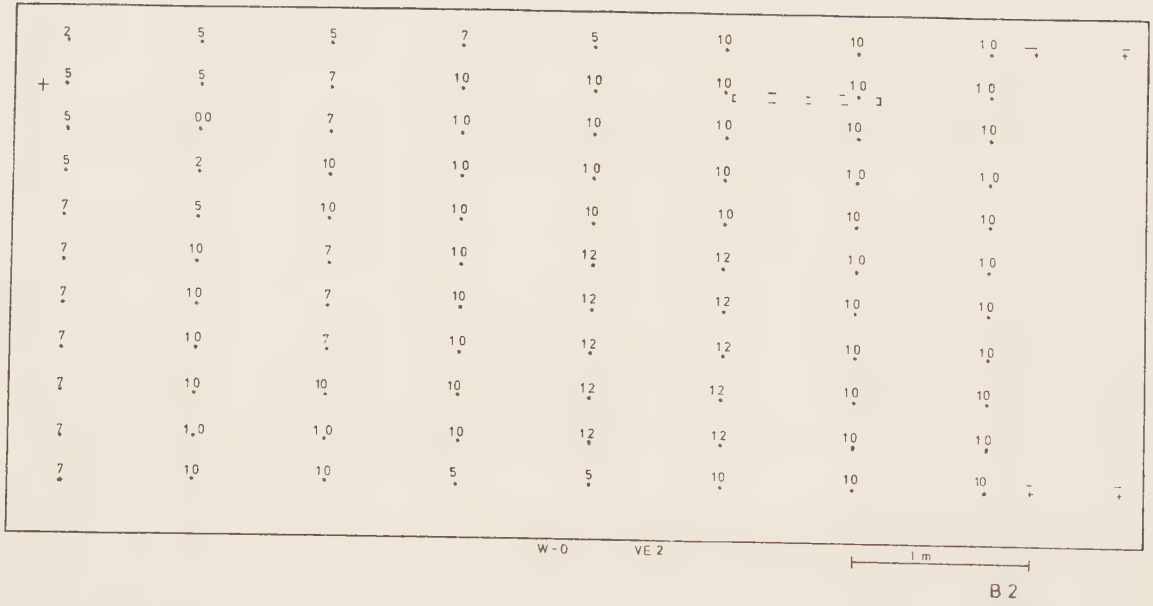


Abb.50 B2 Operationssaal, Vertikalebene 2

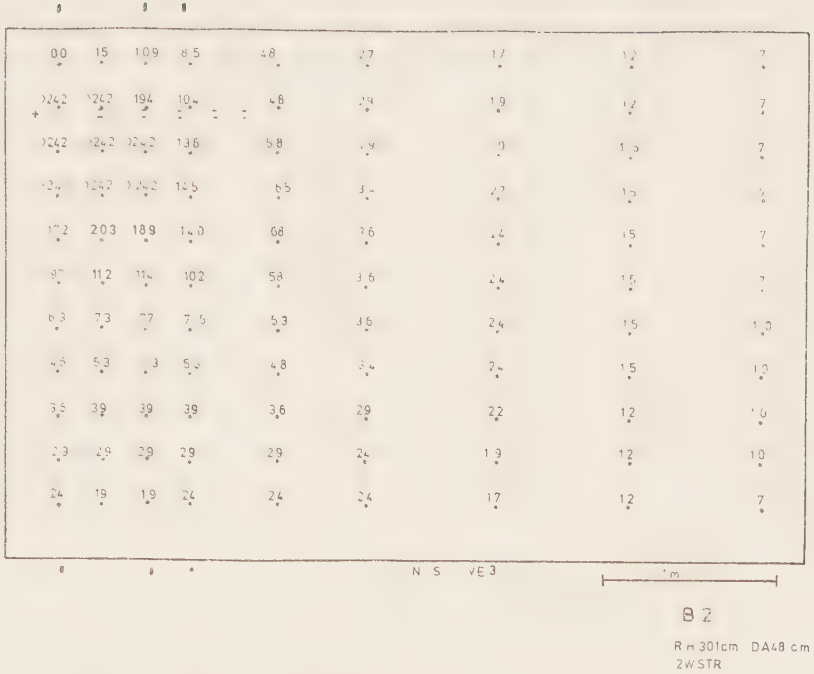
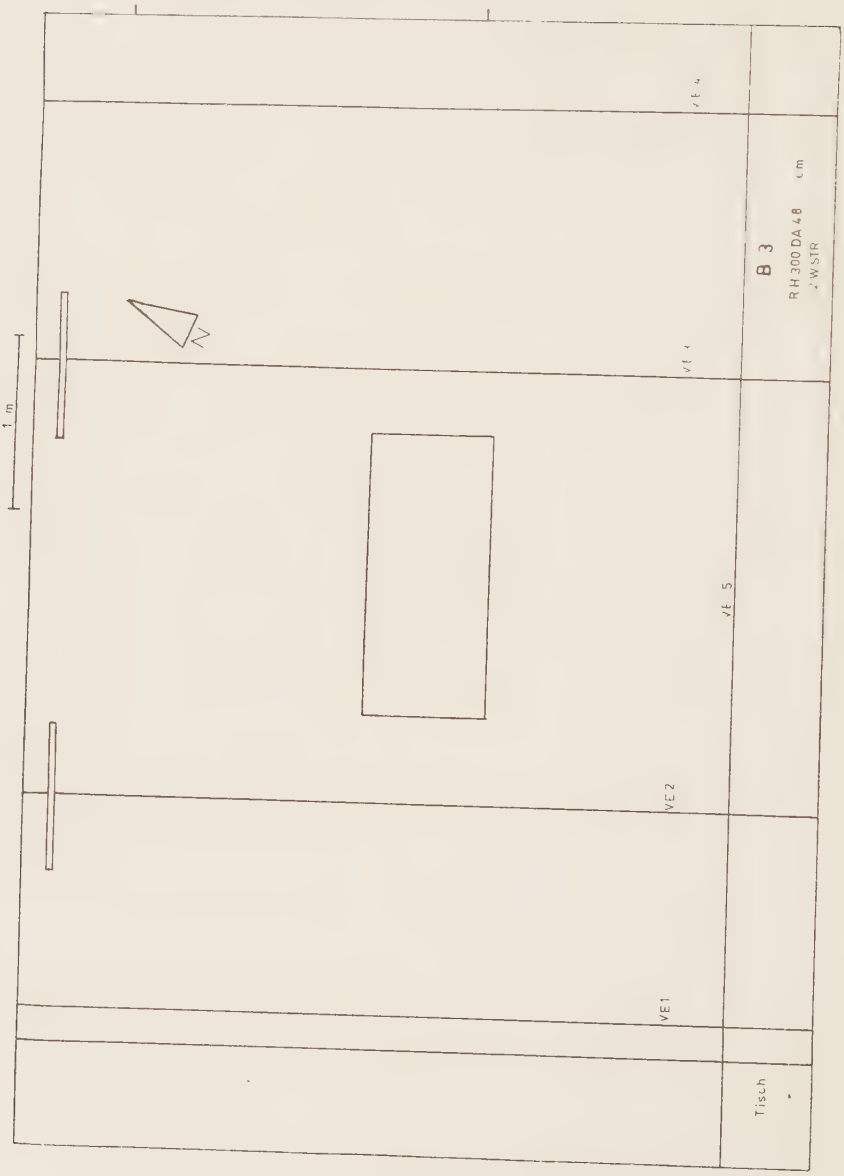


Abb.51 B2 Operationssaal,Vertikalebene 3

Abb.52 B3 Operationssaal,Grundriß



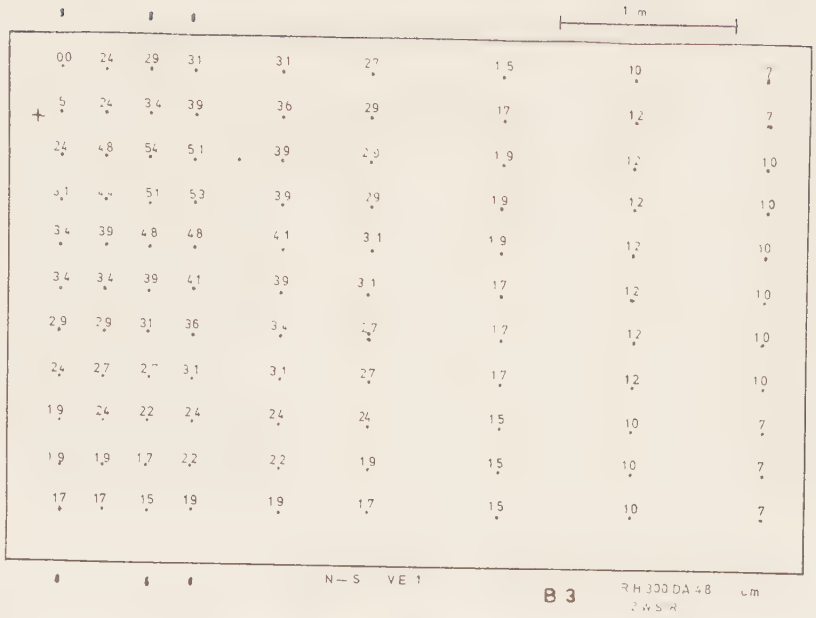


Abb.53 B3 Operationssaal, Vertikalebene 1

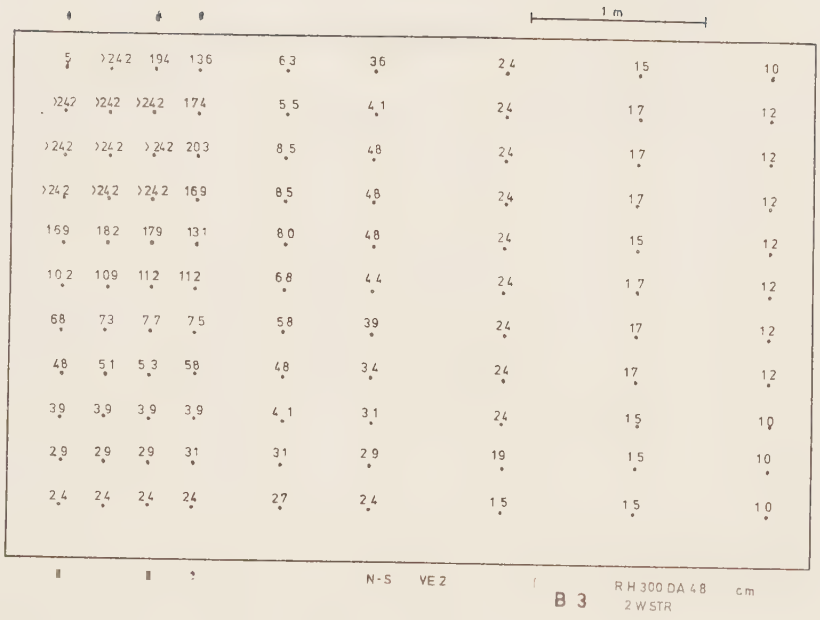


Abb.54 B3 Operationssaal, Vertikalebene 2

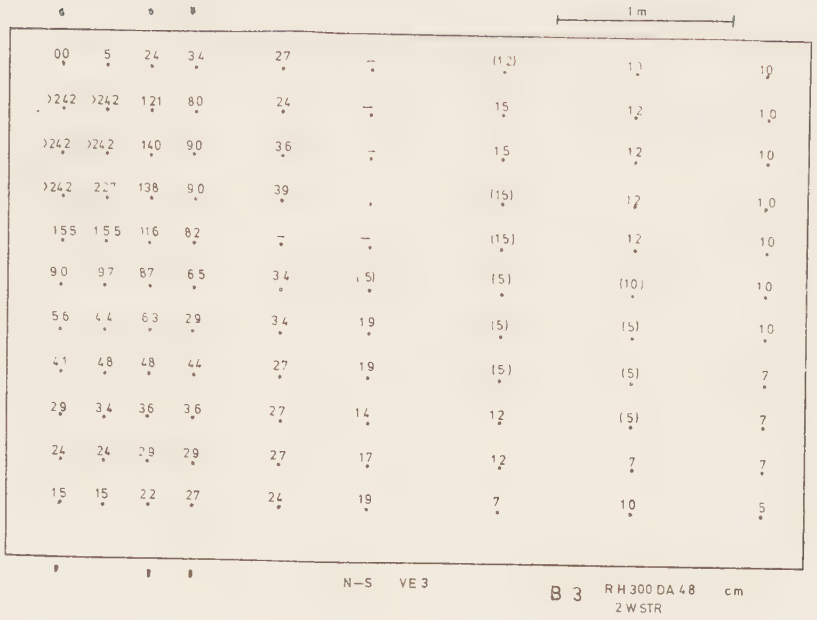


Abb.55 B3 Operationssaal, Vertikalebene 3

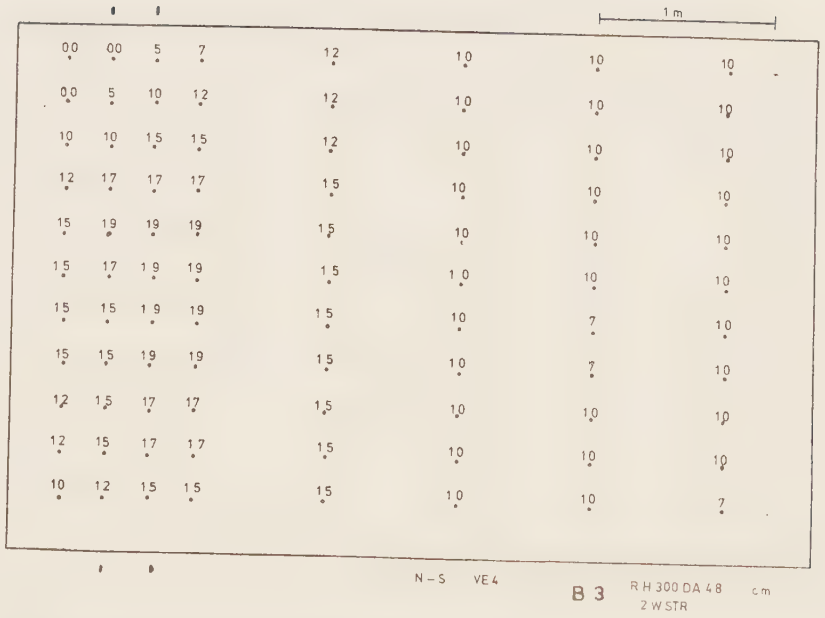


Abb.56 B3 Operationssaal, Vertikalebene 4

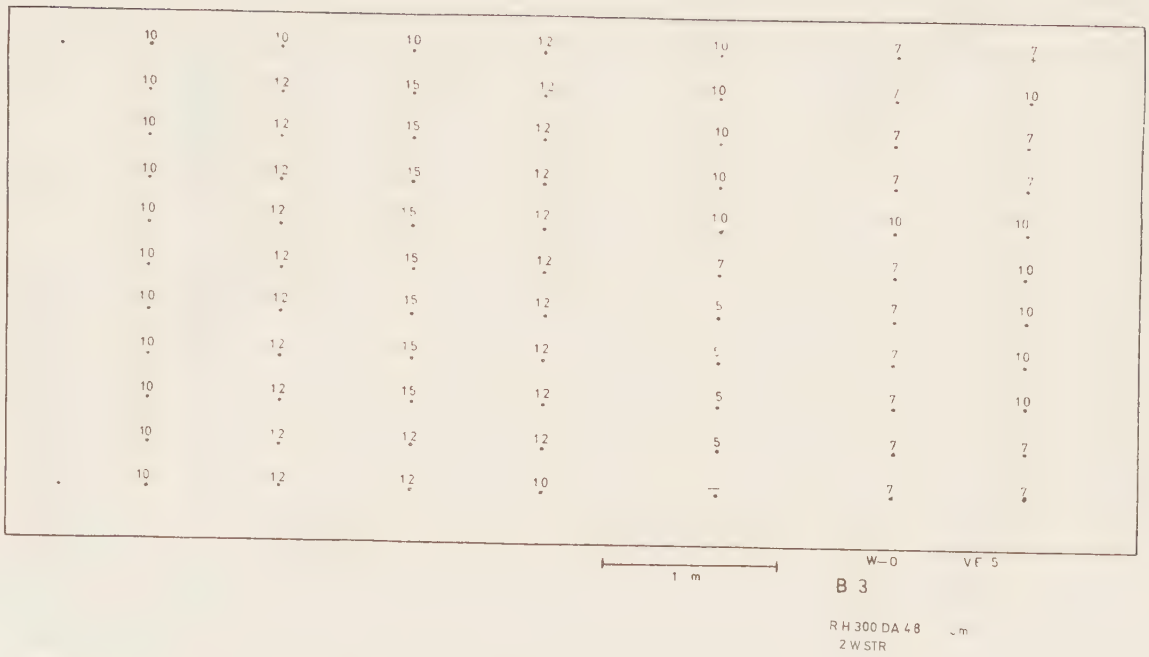


Abb.57 B3 Operationssaal, Vertikalebene 5

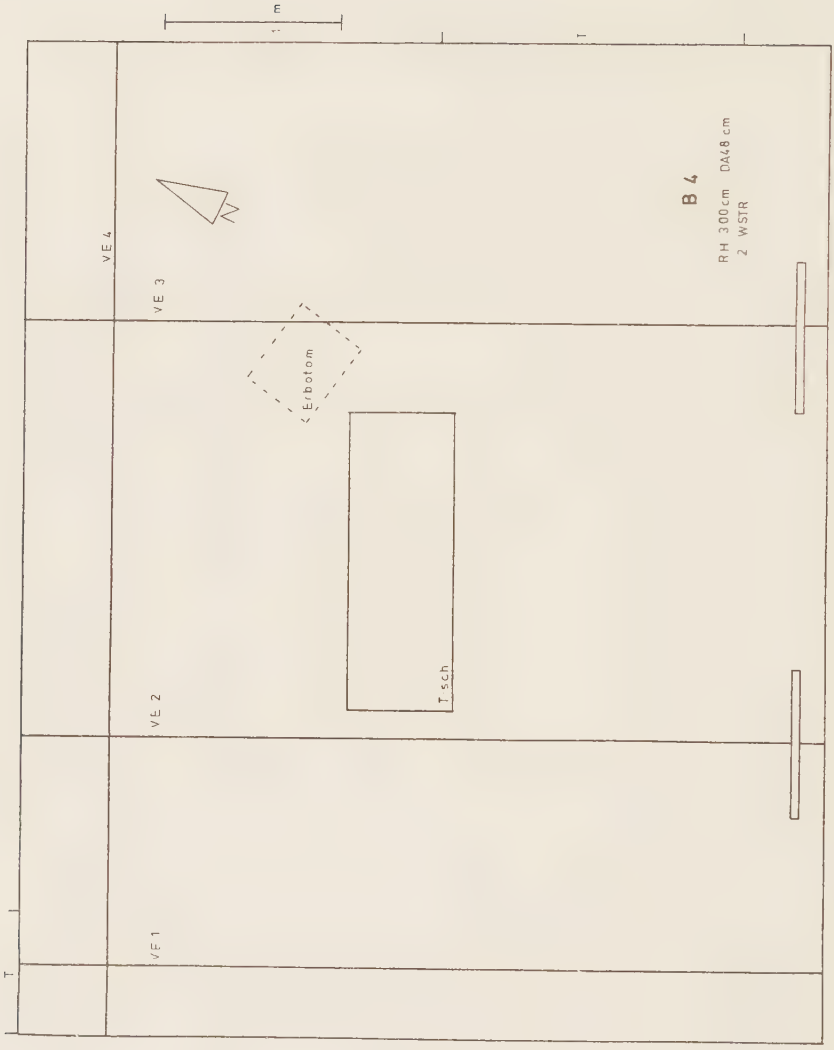


Abb.58 B4 Operationssaal,Grundriß

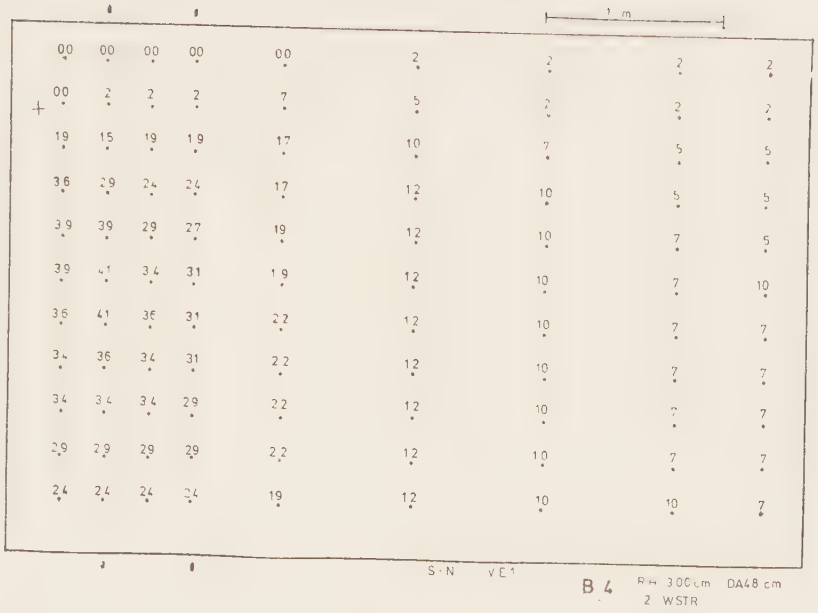


Abb.59 B4 Operationssaal,Vertikalebene1

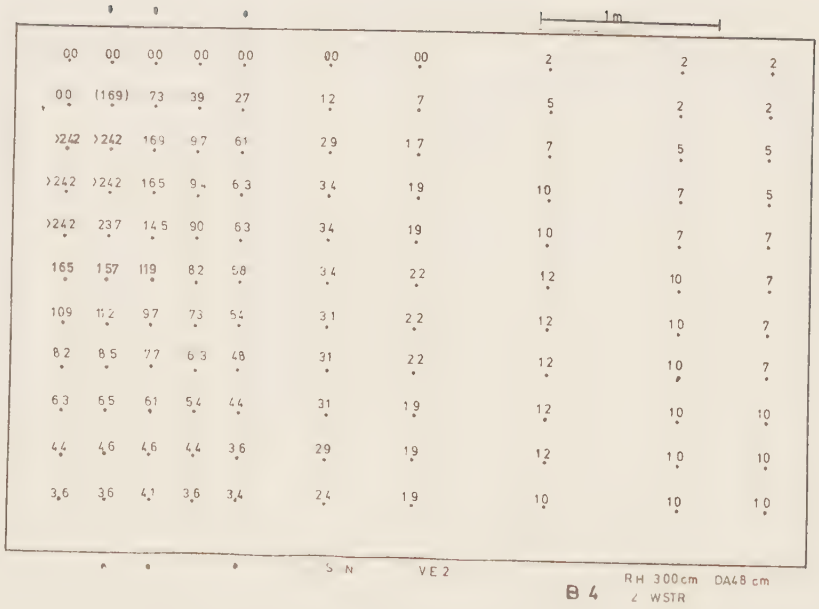


Abb.60 B4 Operationssaal, Vertikalebene 2

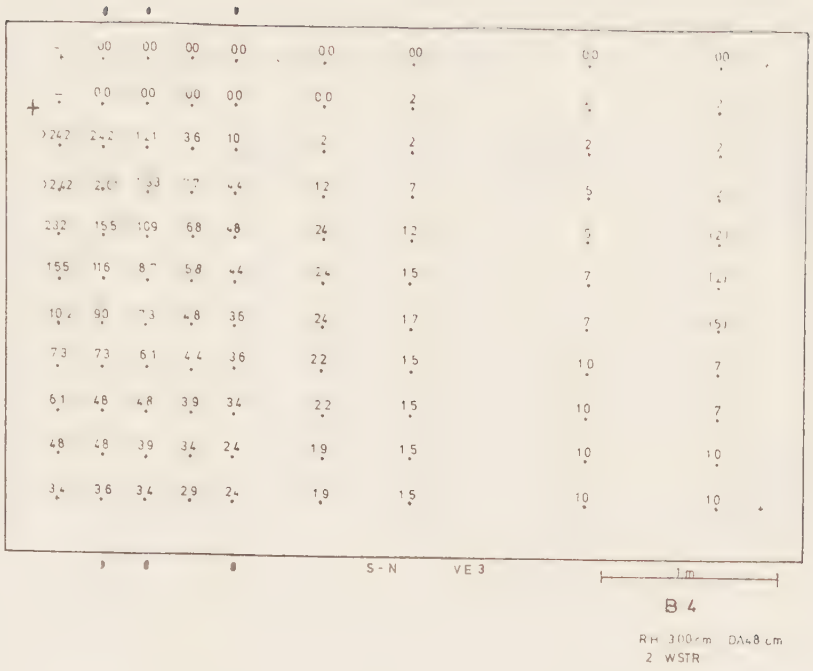


Abb.61 B4 Operationssaal, Vertikalebene 3

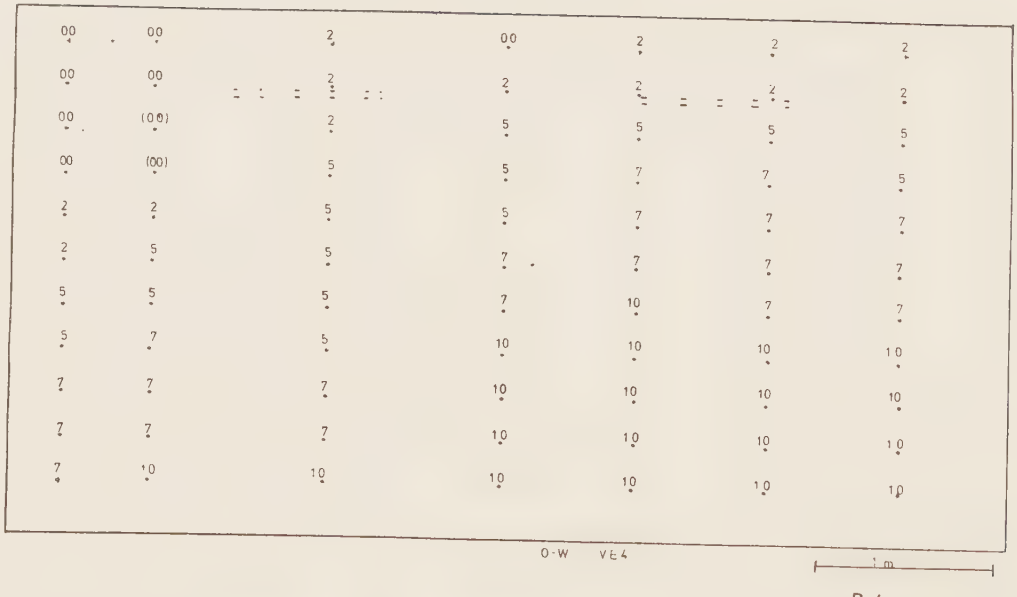


Abb.62 B4 Operationssaal, Vertikalebene 4

Abb.63 C1 Flur,Grundriß

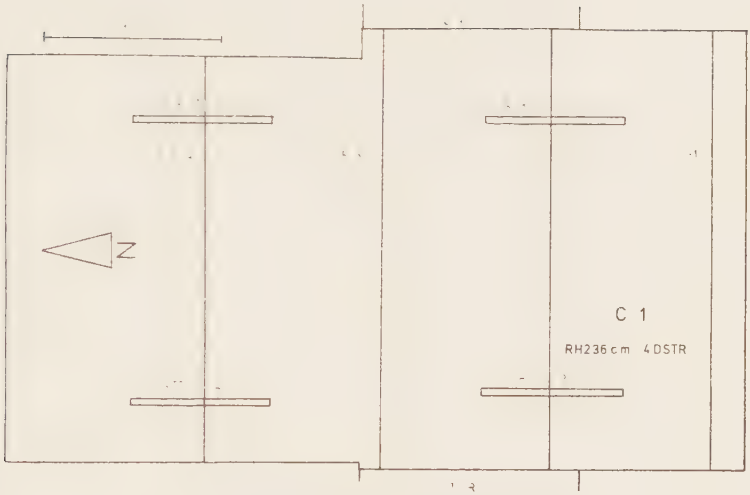
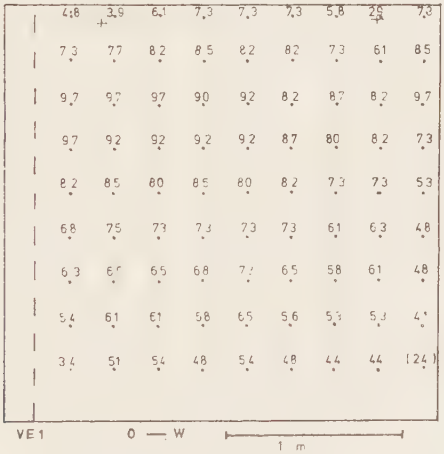


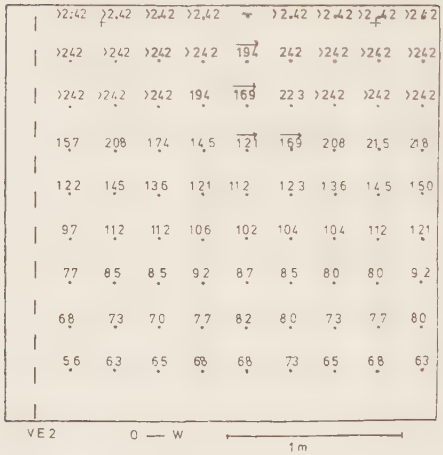
Abb.64 C1 Flur,Vertikalebene 1



C 1

RH236cm 4DSTR

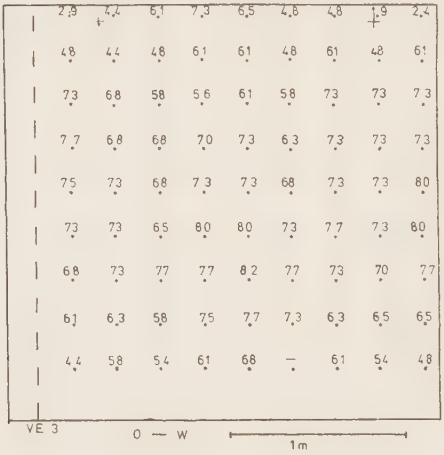
Abb.65 C1 Flur,Vertikalebene 2



C 1

RH236 cm 4 DSTR

Abb.66 C1 Flur,Vertikalebene 3



C 1

RH236 cm 4 DSTR

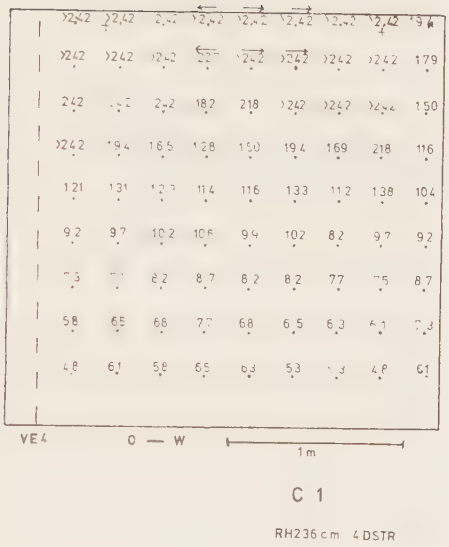


Abb.67 C1 Flur,Vertikalebene 4

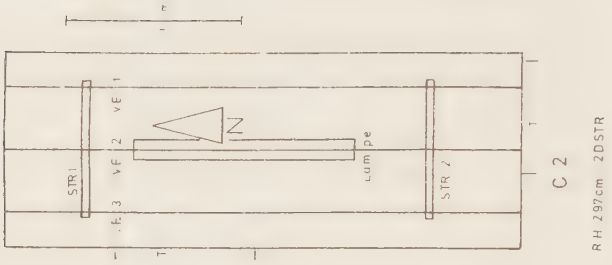


Abb.68 C2 Personenschleuse,Grundriß

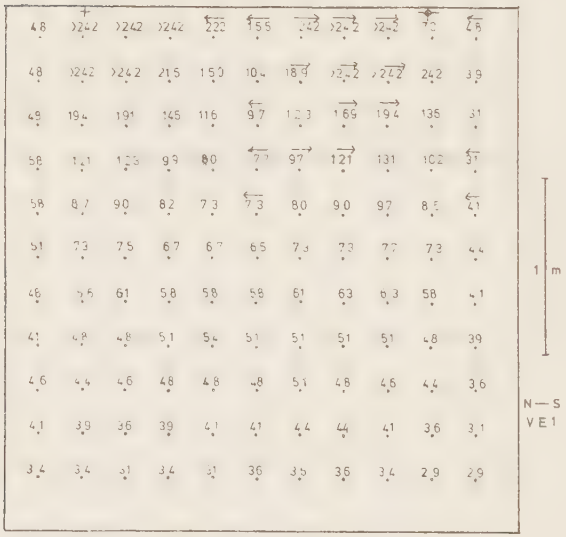
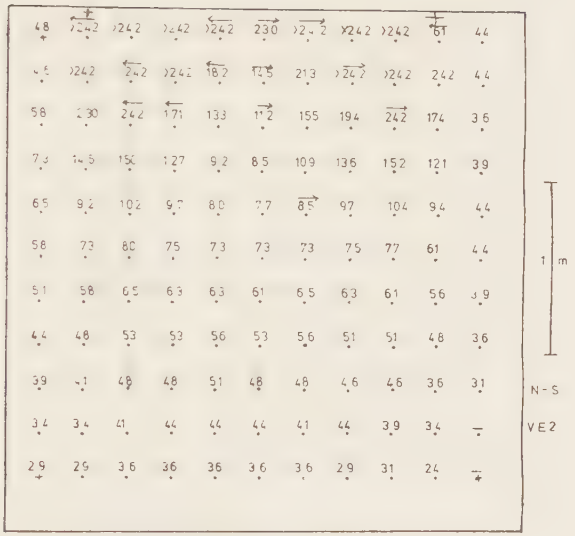


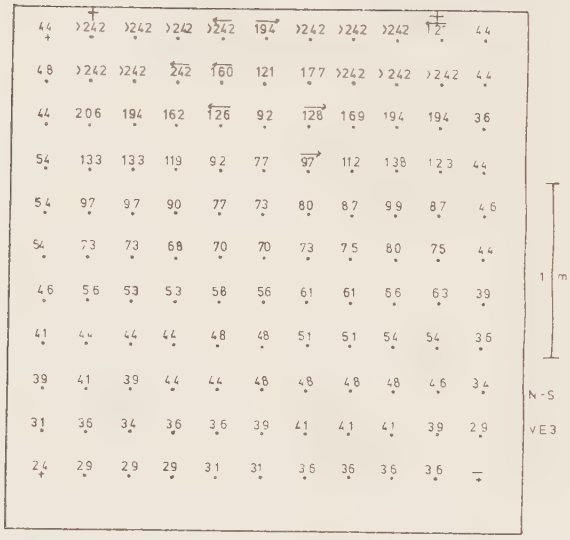
Abb.69 C2 Personenschleuse,Vertikalebene 1



C 2

RH 297cm 2DSiR

Abb.70 C2 Personenschleuse,Vertikalebene 2

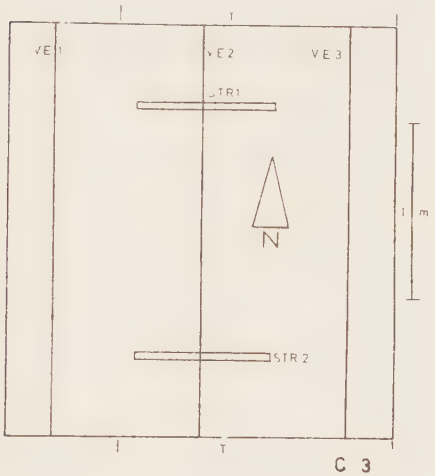


C 2

RH 297cm 2DSTR

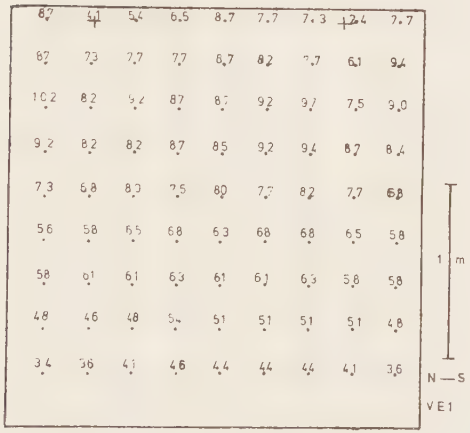
Abb.71 C2 Personenschleuse, Vertikalebene 3

Abb.72 C3 Materialschleuse,Grundriß



C 3

RH238 cm 2DSTR

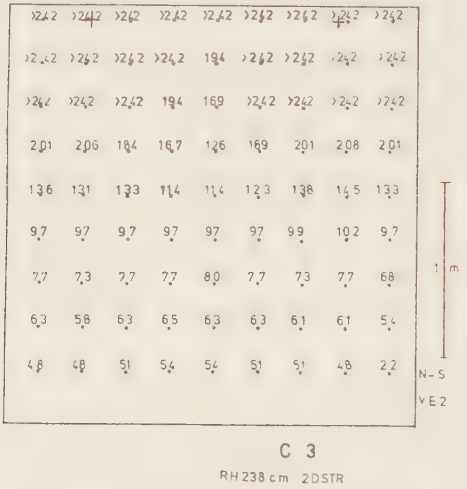


C 3

RH238 cm 2DSTR

Abb.73 C3 Materialschleuse,Vertikalebene 1

Abb.74 C3 Materialschleuse,Vertikalebene 2



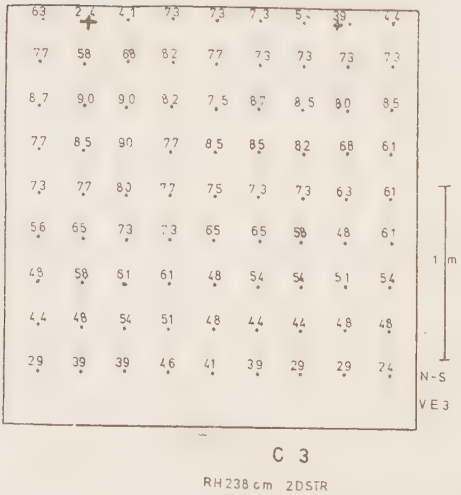


Abb.75 C3 Materialschleuse,Vertikalebene 3

Abb.76 C4 Flurschleuse,Grundriß

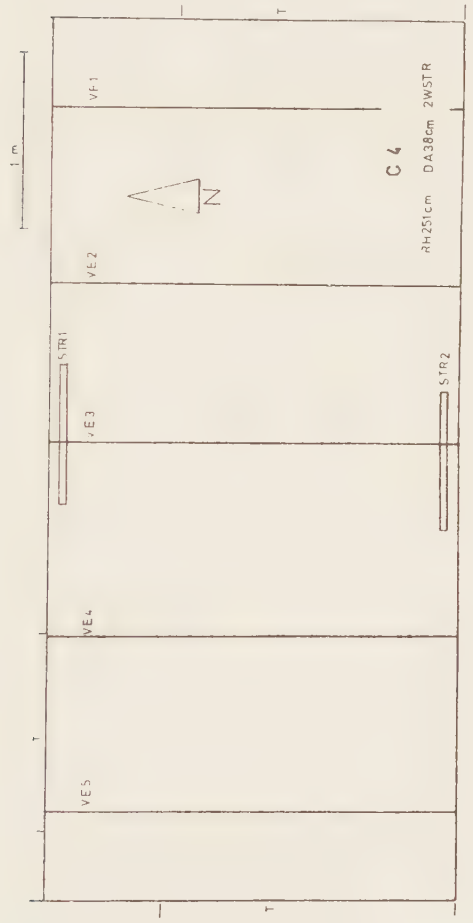
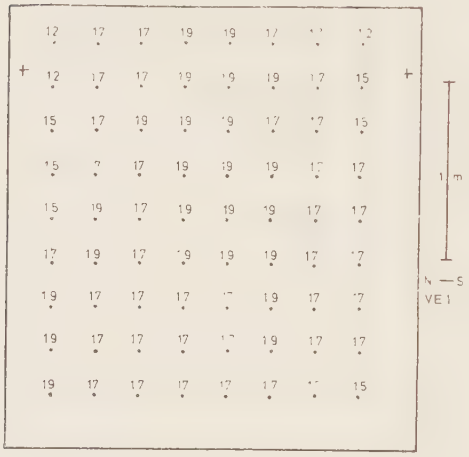
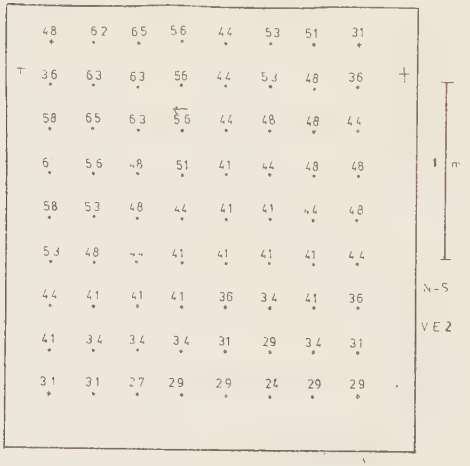


Abb.77 C4 Flurschleuse,Vertikalebene 1



C 4

RH251cm DA38cm 2WSTR

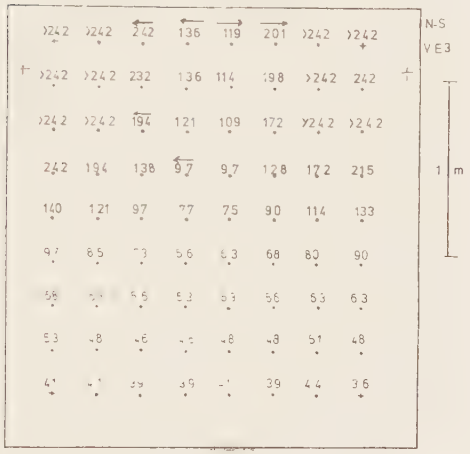


C 4

RH251cm DA38cm 2WSTR

Abb.78 C4 Flurschleuse,Vertikalebene2

Abb.79 C4 Flurschleuse,Vertikalebene 3



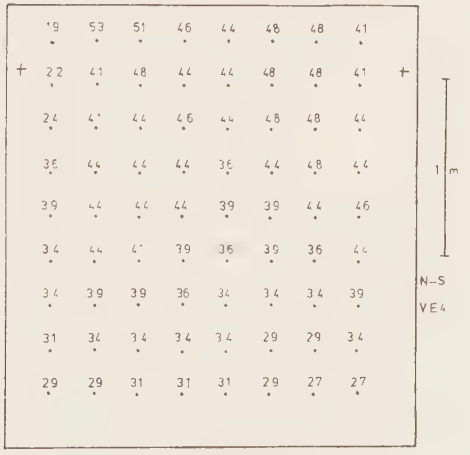
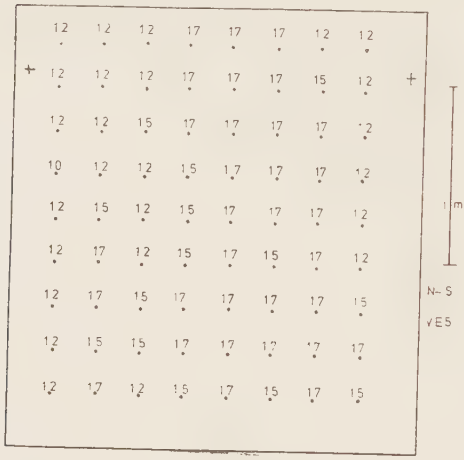


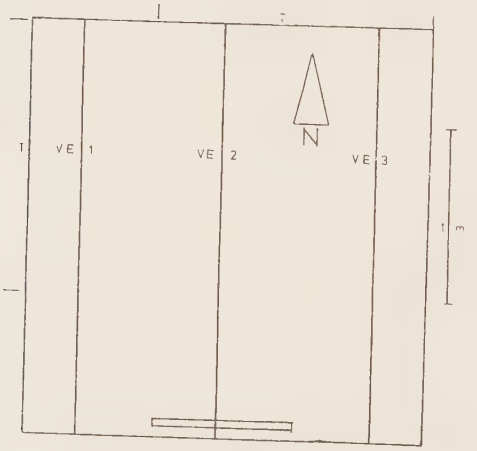
Abb.80 C4 Flurschleuse,Vertikalebene 4

Abb.81 C4 Flurschleuse, Vertikalebene 5



C 4

RH251cm DA38cm 2WSTR

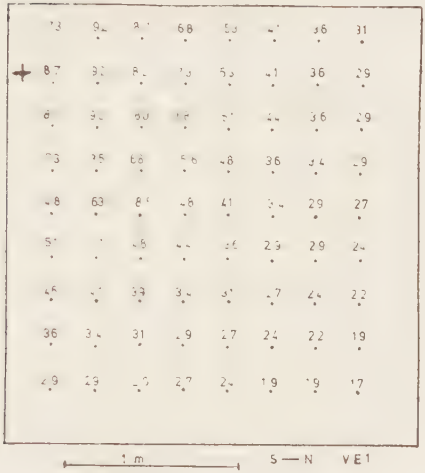


C 5

RH250cm DA38cmlWSTR

Abb.82 C5 Flur, Grundriß

Abb.83 C5 Flur,Vertikalebene 1



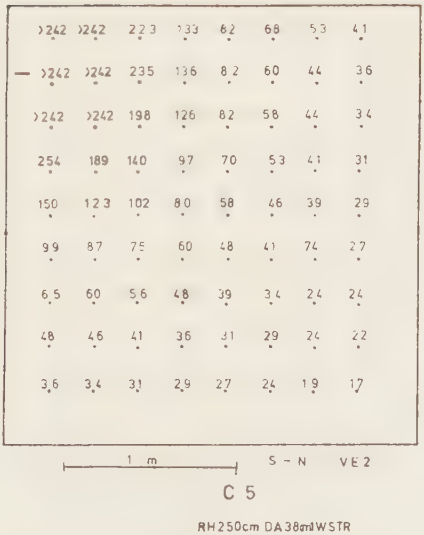
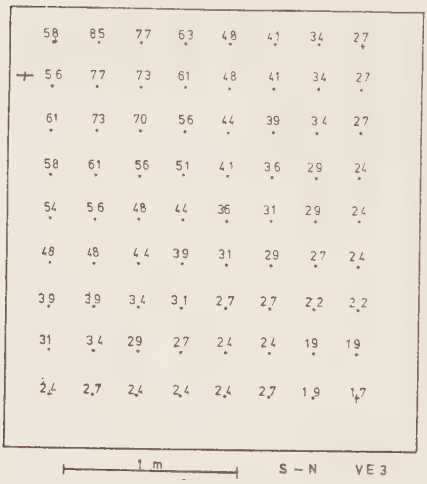


Abb.84 C5 Flur,Vertikalebene 2

Abb.85 C5 Flur,Vertikalebene 3



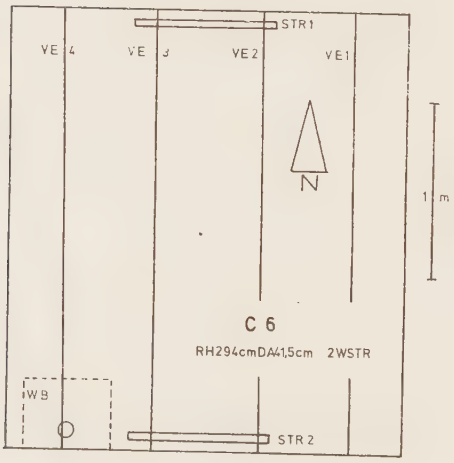


Abb.86 C6 Arbeitsraum,Grundriß

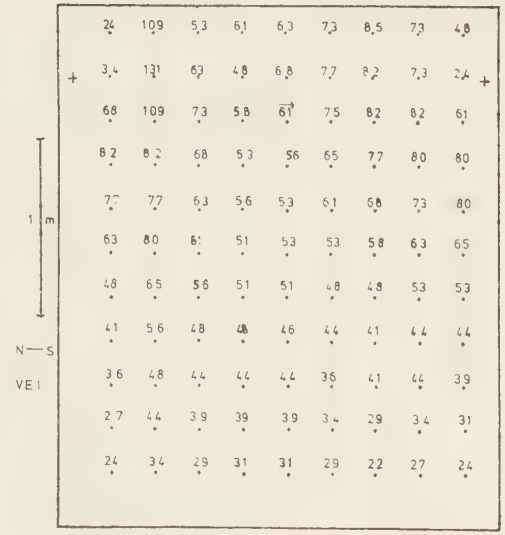


Abb.87 C6 Arbeitsraum, Vertikalebene 1

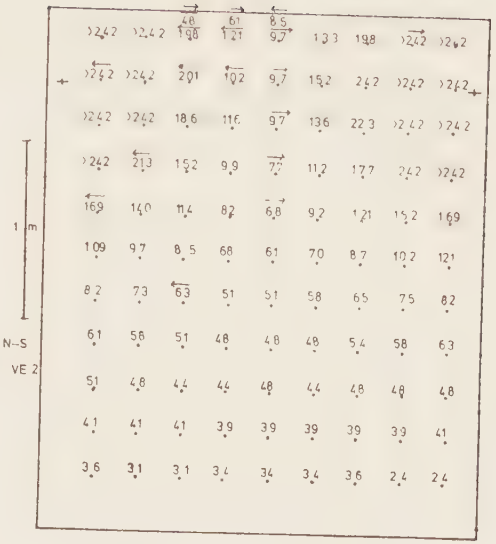
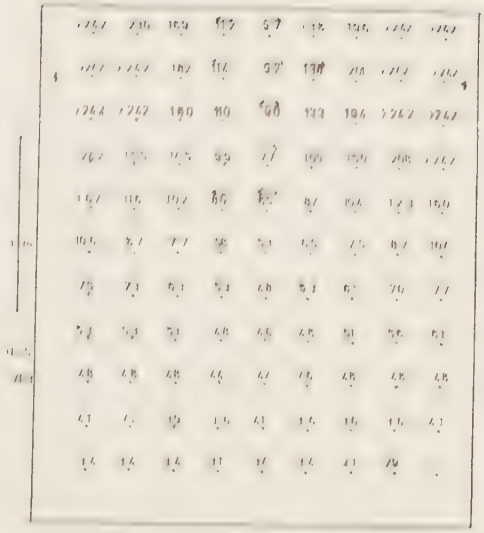
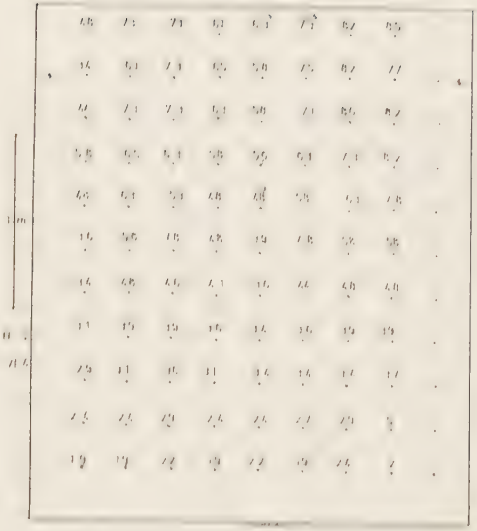


Abb.88 C6 Arbeitsraum, Vertikalebene 2



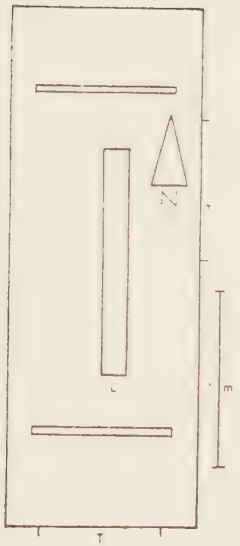
C 6

Abb.89 C6 Arbeitsraum, Vertikalebene 3



C 6

Abb.90 C6 Arbeitsraum, Vertikalebene 4



C 7

RH 295,5 cm 2 DSTR

Abb.91 C7 Personenschleuse,
Grundriß

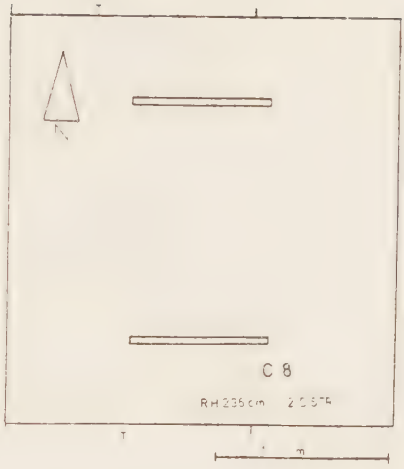


Abb.92 C8 Materialschleuse,
Grundriß

Abb.93 C9 Durchreiche,
Grundriß

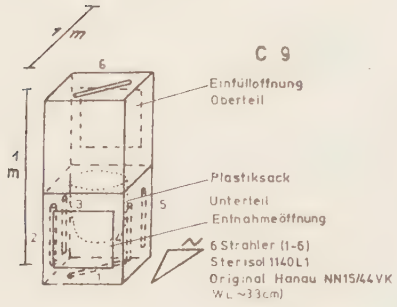
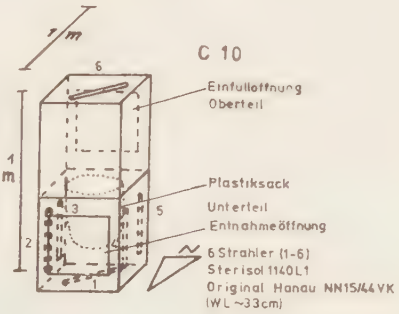


Abb.94 C10 Durchreiche,
Grundriß



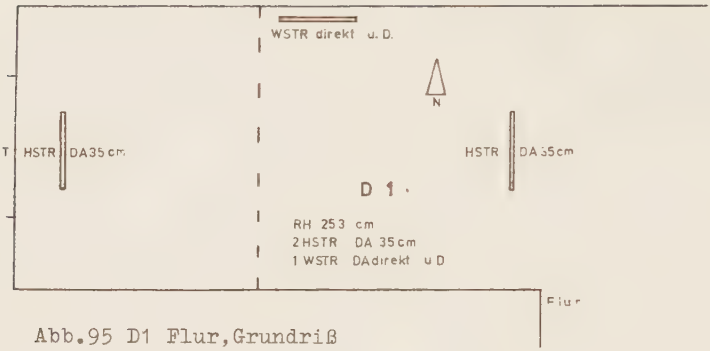


Abb.95 D1 Flur, Grundriß

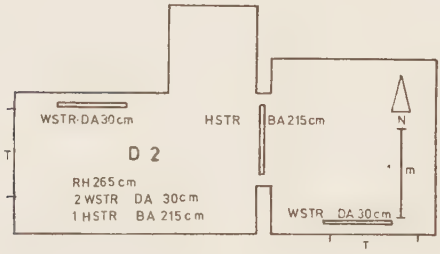


Abb.96 D2 Umkleideraum, Grundriß

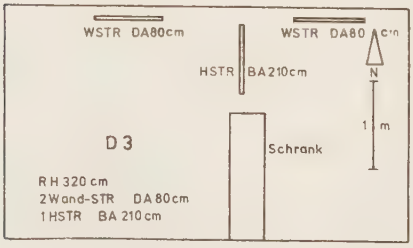


Abb.97 D3 Umkleideraum, Grundriß

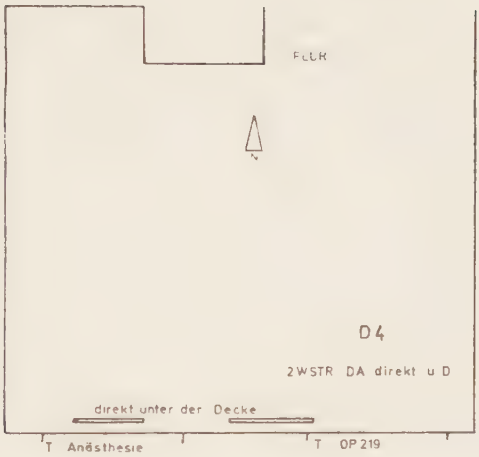


Abb.98 D4 Anästhesieraum, Grundriß

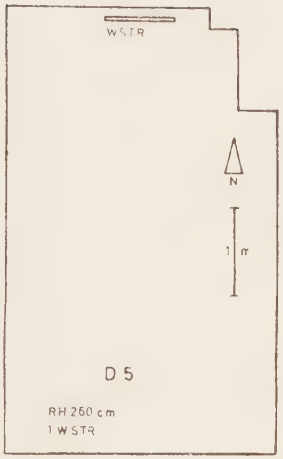


Abb.99 D5 Raum, Grundriß

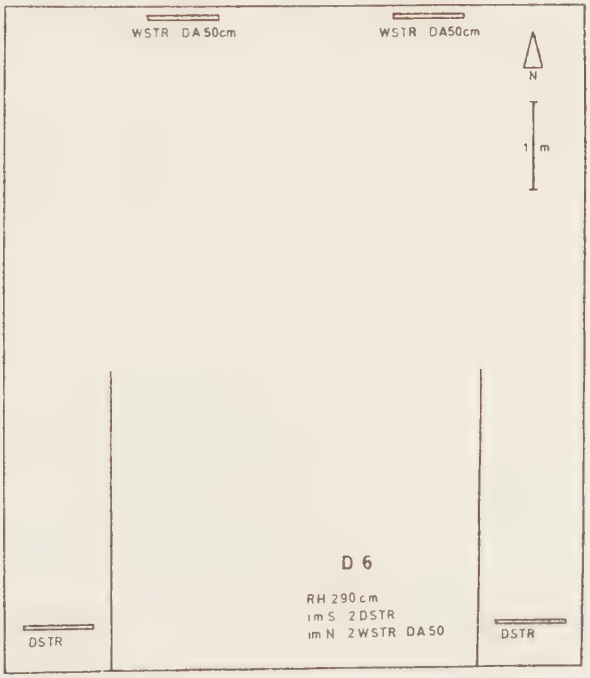


Abb.100 D6 Operationssaal, Grundriß

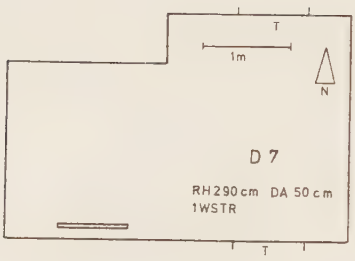


Abb.101 D7 Waschraum,
Grundriß

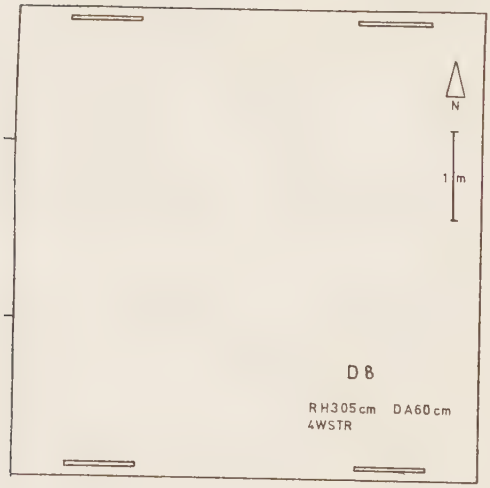


Abb.102 D8 Operationssaal,
Grundriß

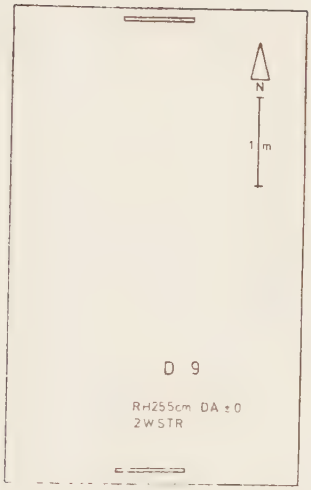


Abb.103 D9 Waschraum,
Grundriß

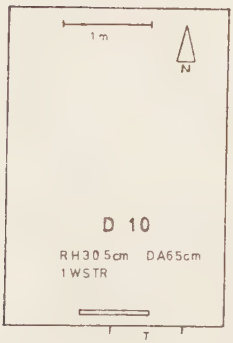


Abb.104 D10 Röntgenraum,
Grundriß

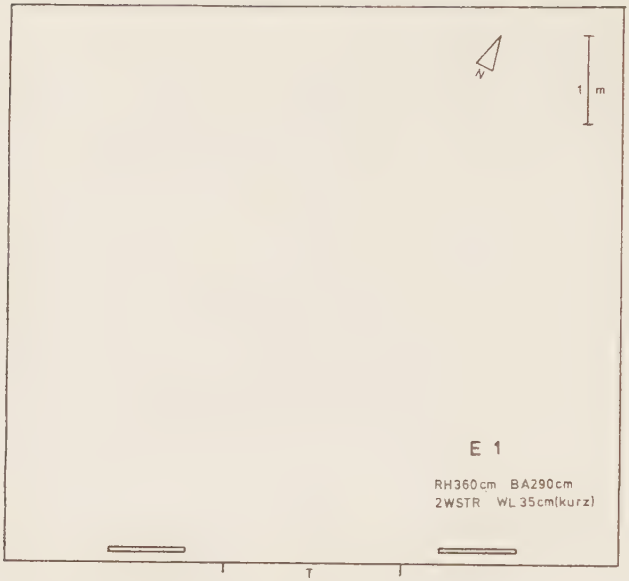
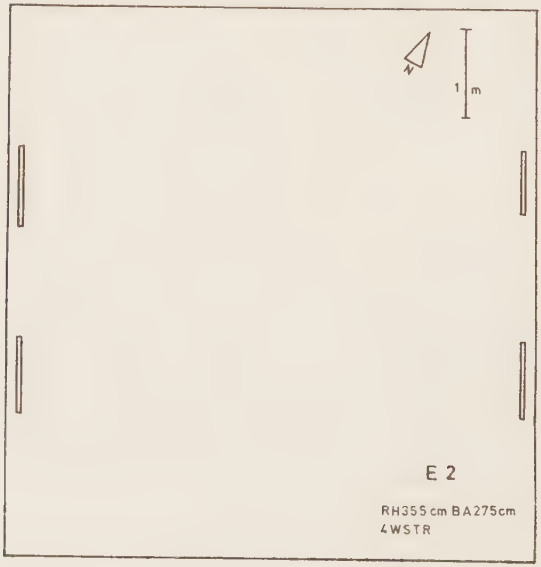


Abb.105 E1 Raum, Grundriß

Abb.106 E2 Operationssaal, Grundriß



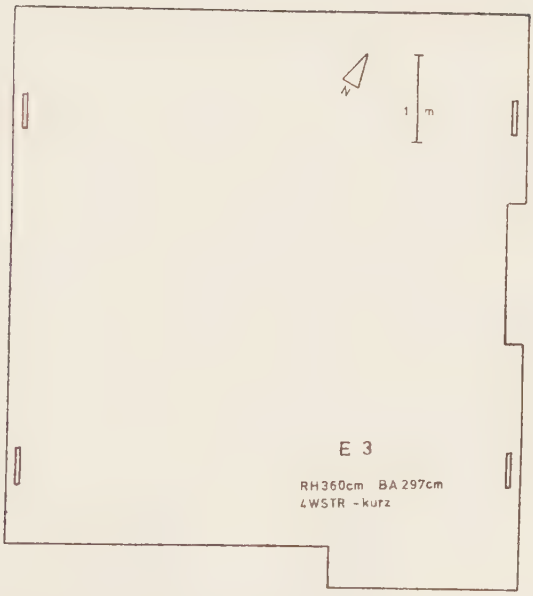


Abb.107 E3 Operationssaal,
Grundriß

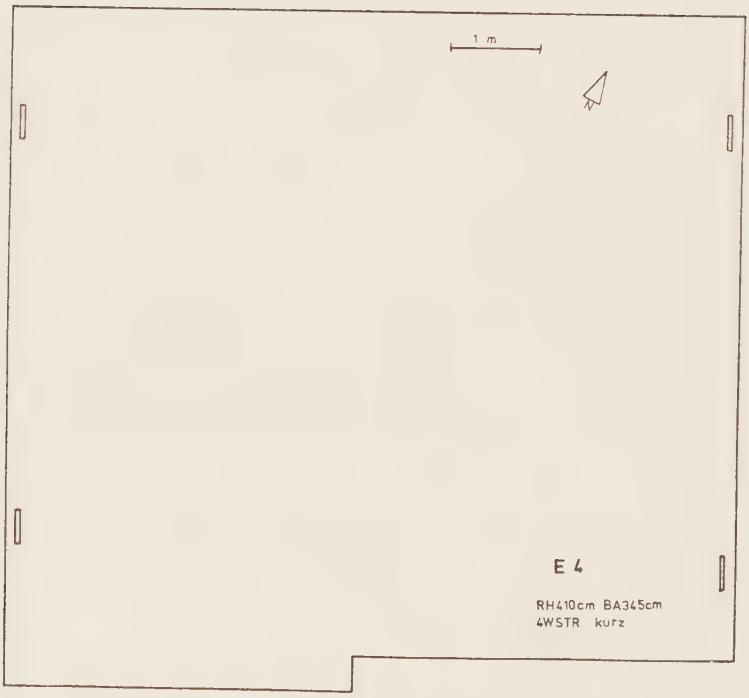


Abb.108 E4 Operationssaal,
Grundriß

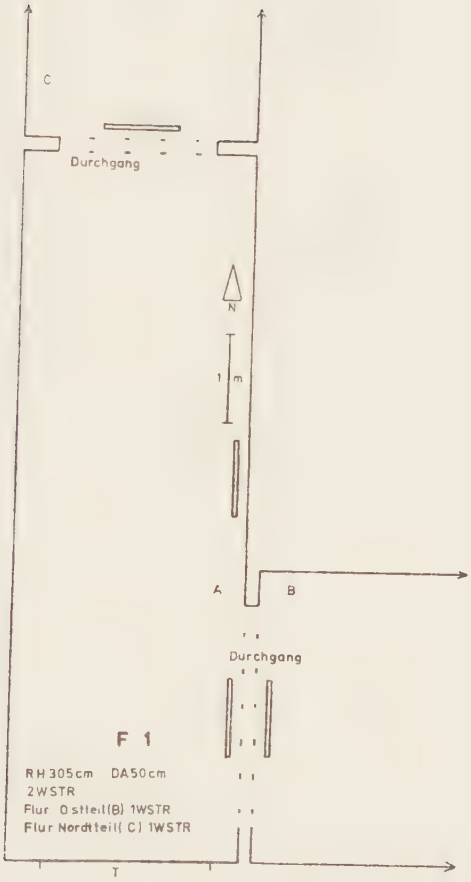


Abb.109 F1 Flurschleuse,
Grundriß

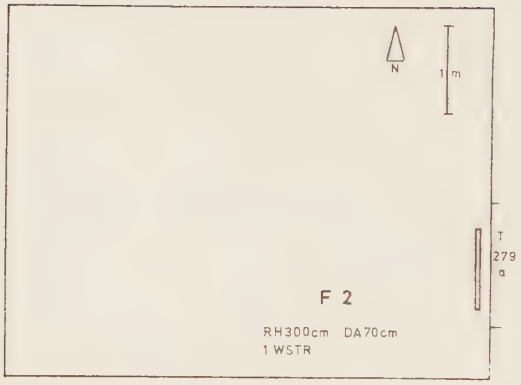


Abb.110 F2 Raum,
Grundriß

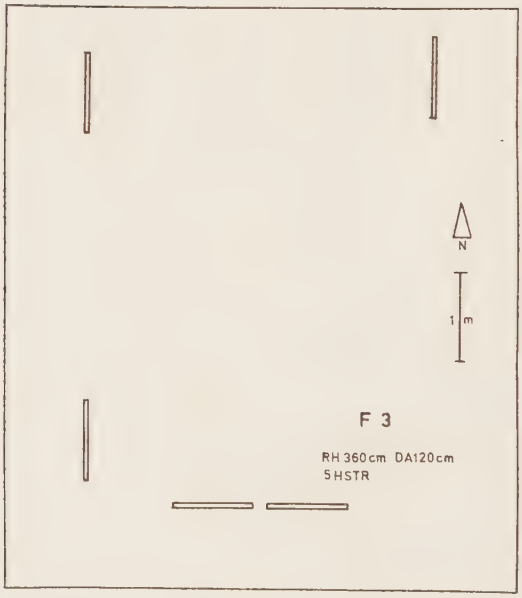
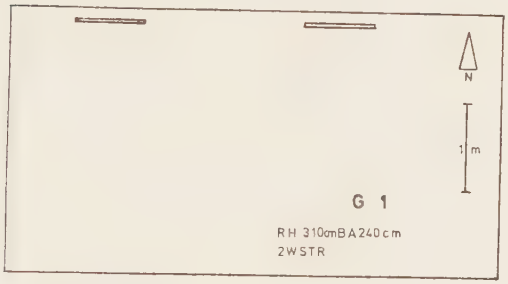


Abb.111 F3 Operationssaal,
Grundriß

Abb.112 G1 Operationssaal,
Grundriß



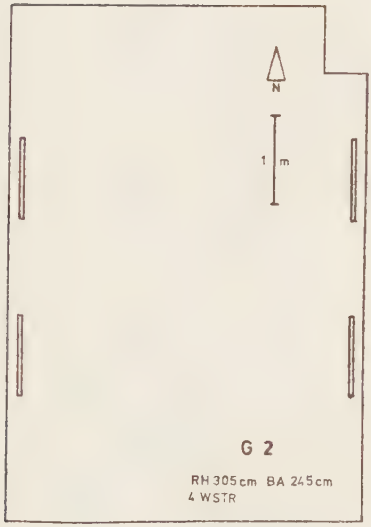


Abb.113 G2 Operationssaal,
Grundriß

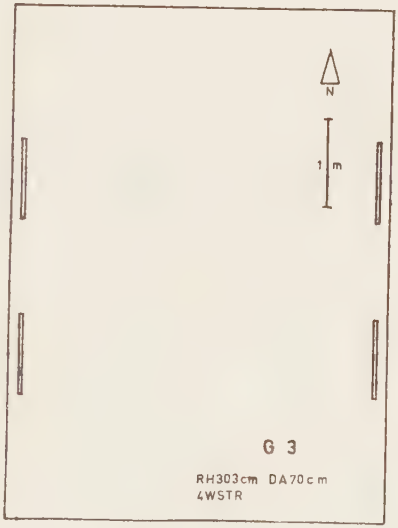


Abb.114 G3 Operationssaal,
Grundriß

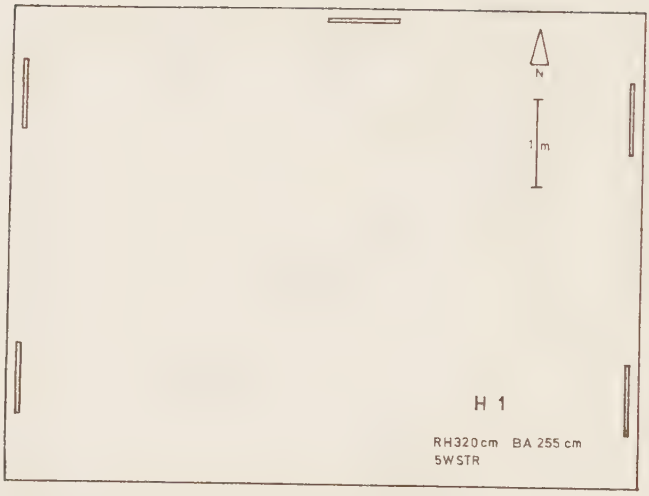


Abb.115 H1 Operationssaal,Grundriß

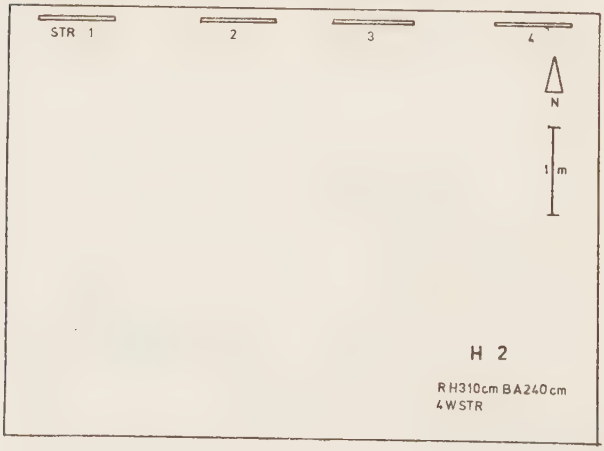


Abb.116 H2 Operationssaal,Grundriß

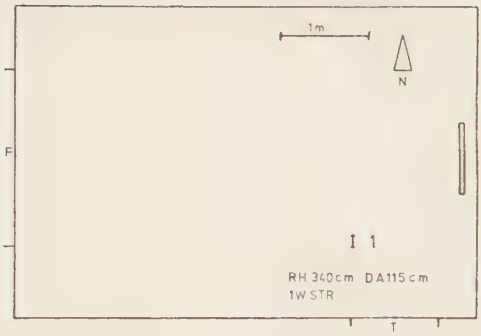


Abb.117 I1 Raum,Grundriß

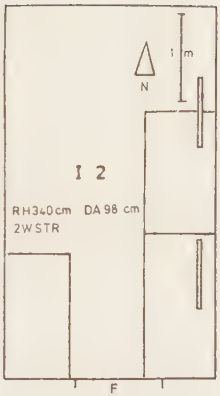


Abb.118 I2 WC-Dusche,
Grundriß

Abb.119 I3 Spülraum,
Grundriß

Abb.120 I4 Sterilisationsraum,
Grundriß

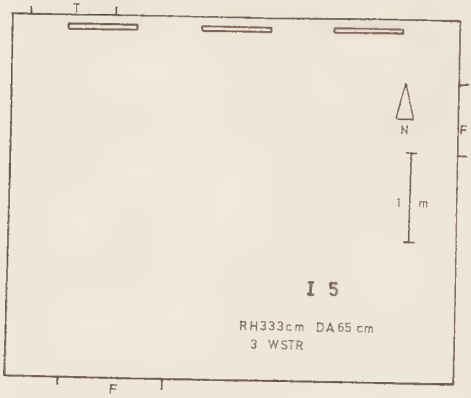


Abb.121 I5 Geräteraum,
Grundriß

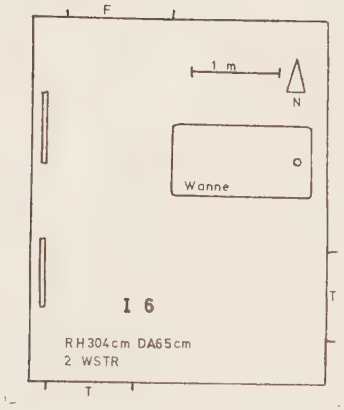


Abb.122 I6 Bad,
Grundriß

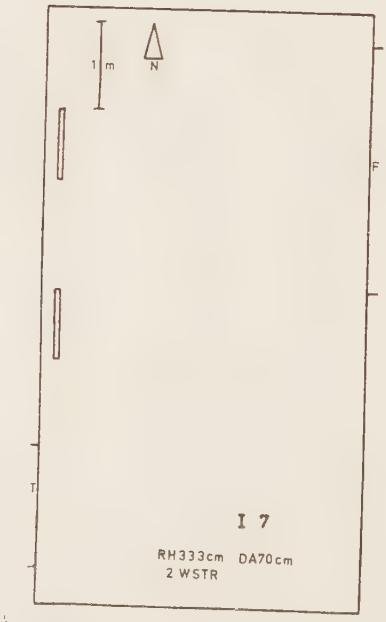


Abb.123 I7 Patientenzimmer,
Grundriß

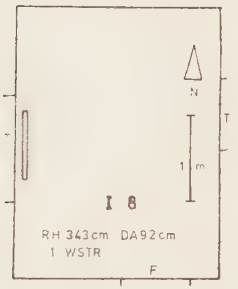


Abb.124 I8 Spülraum,
Grundriß

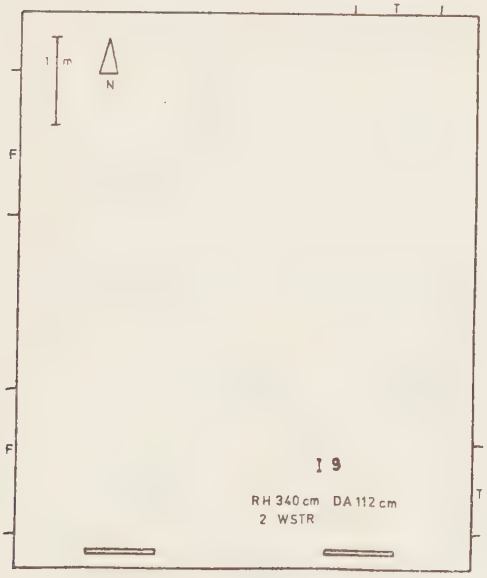
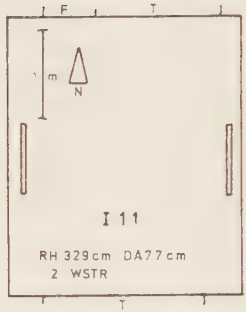


Abb.125 I9 Patientenraum,
Grundriß

Abb.127 I11 Flur,
Grundriß



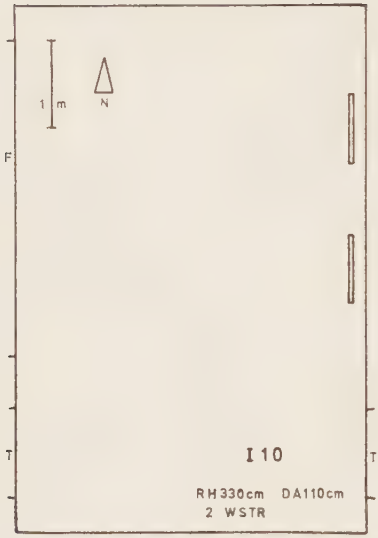


Abb.126 I10 Patientenzimmer,
Grundriß

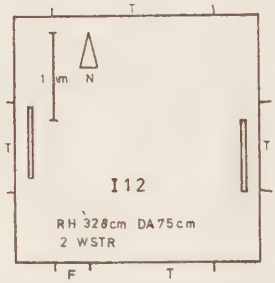


Abb.128 I12 Flur,
Grundriß

Abb.129 I13 Umkleideraum,
Grundriß

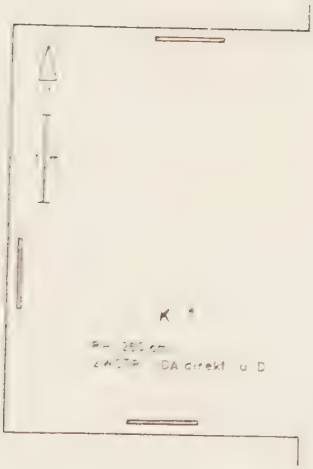


Abb.130 K1 Waschraum,
Grundriß

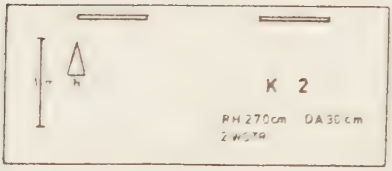


Abb.131 K2 Waschraum,
Grundriß

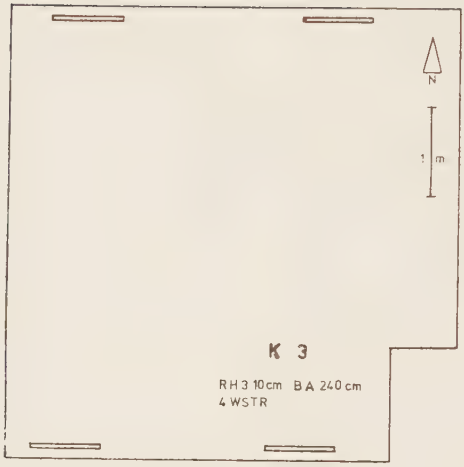


Abb.132 K3 Operationssaal,
Grundriß

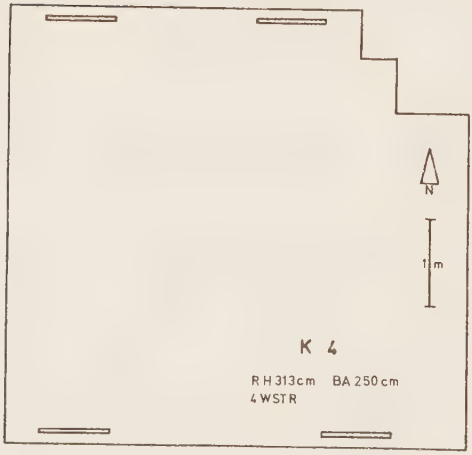


Abb.133 K4 Operationssaal,
Grundriß

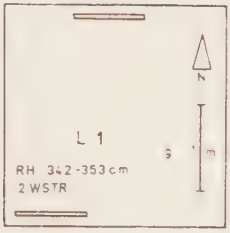


Abb.134 L1 Eingangsschleuse, Grundriß

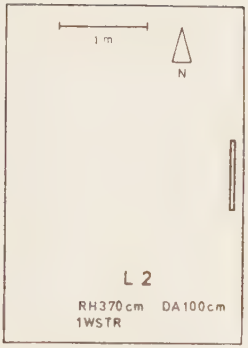


Abb.135 L2 Vorbereitungsraum, Grundriß

Abb.136 L3 Anästhesieraum, Grundriß

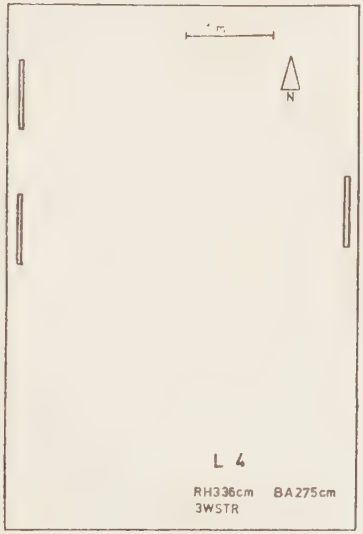


Abb.137 L4 Operationssaal, Grundriß

Abb.138 L5 Waschraum,
Grundriß

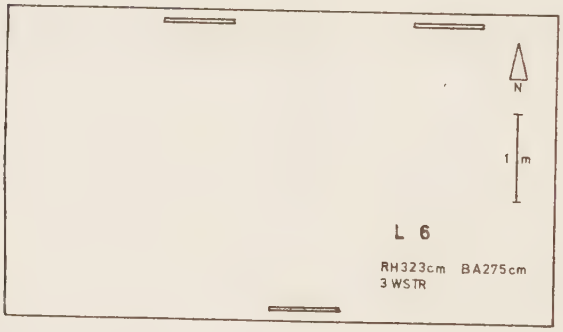


Abb.139 L6 Operationssaal,
Grundriß

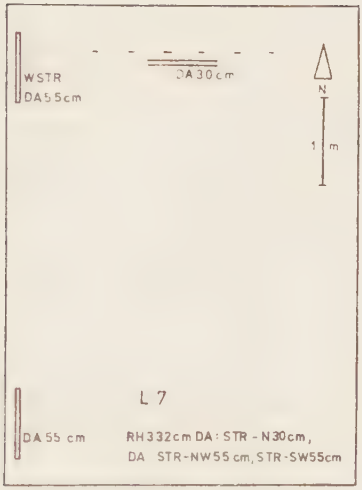


Abb.140 L7 Operationssaal,
Grundriß

Abb.141 L8 Waschraum,
Grundriß

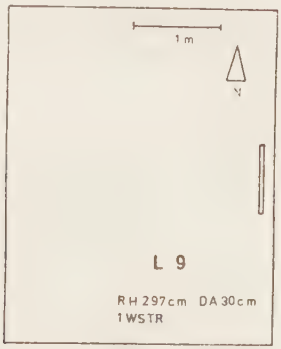


Abb.142 L9 Anästhesieraum,
Grundriß

Tabelle 9
Zuordnung der Werte der räumlichen Messungen
zu 4 Wertebereichen (I-IV).

Raumbezeichnung	Anzahl der Werte in den Bereichen							
	I		II		III		IV	
	absolut	%	absolut	%	absolut	%	absolut	%
Institut A								
A1 Flur	184	67	63	23	21	7	7	3
A2 Arztzimmer	179	55	98	30	9	3	38	12
A3 Labor	34	12	196	66	48	16	19	6
A4 Labor	-	-	-	-	-	-	-	-
A5 Labor	33	18	143	81	1	1	-	-
A6 Labor	74	50	75	50	-	-	-	-
Klinik B								
B1 Operationssaal	16	7	155	64	65	27	6	2
B2 Operationssaal	38	21	118	67	17	10	3	2
B3 Operationssaal	48	18	204	79	6	2	2	1
B4 Operationssaal	49	22	117	54	36	16	16	8
Pockenisolierstation C								
C1 Flur	317	98	5	2	-	-	-	-
C2 Personenschleuse	339	94	21	6	-	-	-	-
C3 Materialschleuse	236	97	7	3	-	-	-	-
C4 Flurschleuse	190	53	170	47	-	-	-	-
C5 Flur	142	66	74	34	-	-	-	-
C6 Arbeitsraum	348	90	37	9	2	1	-	-

Tabelle 10 Meßwerte der Direktmessungen.

Raumbezeichnung	Strahler	Typ	Meßwerte(Skt)	Mittel-wert	Werte-bereich
Institut A					
A1 Flur	a	3a	75 77 76 76 77	76,2	A
	b	3a	55 54 56 56 52	54,6	B
A2 Arztzimmer	a	3a	74 73 72 74 74	73,4	A
A3 Labor	a	3a	62 63 63 62 63	62,6	B
	b	3a	strahlt nicht	-	C
A4 Labor	a	3a	47 46 45 46 47	46,2	C
	b	3a	51 51 55 54 50	52,2	B
A5 Labor	a	3a	40 42 43 43 37	41,0	C
	b	3a	60 61 60 60 60	60,2	B
	c	3a	52 52 50 51 53	51,6	B
A6 Labor	a	3a	48 50 50 48 50	49,2	B
	b	3a	42 51 53 48 50	48,8	C
Klinik B					
B1 Operationssaal	a	3a	28 32 34 28 34	31,2	C
	b	3a	50 49 48 47 49	48,6	C
B2 Operationssaal	a	3a	69 69 69 69 70	69,2	B
	b	3a	63 65 68 63 68	63,4	B
B3 Operationssaal	a	3a	78 82 82 81 80	80,6	A
	b	3a	45 47 48 48 46	46,8	C
B4 Operationssaal	a	3a	67 67 67 66 69	67,2	B
	b	3a	65 62 63 65 63	63,6	B
Pockenisolierstation C					
C1 Flur	a	4a	83 82 84 85 86	84,0	A
	b	4a	91 92 92 94 90	91,8	A
	c	4a	85 82 82 84 85	83,6	A
	d	4a	90 92 92 92 91	91,4	A
C2 Personenschleuse	a	4a	96 99 96 99 98	97,6	A
	b	4a	100,100,100,99,98	99,4	A
C3 Materialschleuse	a	4a	83 78 79 82 82	80,8	A
	b	4a	88 80 82 89 89	85,6	A
C4 Flurschleuse	a	4a	80 79 78 81 80	79,6	A
	b	4a	80 81 78 80 80	79,8	A

Tabelle 10 , Fortsetzung

Raumbezeichnung	Strahler	Typ	Meßwerte(Skt)	Mittel-Wert	Bereich
C5 Flur	a	4a	84 85 86 85 89	85,8	A
C6 Arbeitsraum	a	4b	98 99,100,100,100	99,4	A
	b	4b	100 96 98,105,100	99,8	A
C7 Personenschleuse	a	4a	95 92 88 89 90	90,8	A
	b	4a	strahlt nicht	-	C
C8 Materialschleuse	a	4a	78 76 85 85 82	81,2	A
	b	4a	86 87 83 84 84	84,6	A
C9 Durchreiche	a	2a	100,100,100,100	100	A
	b	2a	100,100,100,100,	100	A
	c	2a	100,100,100,100,	100	A
	d	2a	98,100,100,98,99	99,0	A
	e	2a	100,99,97,100,100	99,2	A
	f	2a	nicht gemessen	-	-
C 10 Durchreiche	a	2a	100	100	A
	b	2a	100	100	A
	c	2a	100	100	A
	d	2a	95	95	A
	e	2a	98	98	A
	f	2a	nicht gemessen	-	-
Klinik D					
D1 Flur	a	3a	64 68 66 68 70	63,2	B
	b	3a	78 76 70 76 74	74,8	A
	c	3a	64 71 86 71 70	68,4	B
D2 Umkleideraum	a	3a	72 72 72 73 72	72,2	A
	b	3a	65 76 75 73 76	73,0	A
	c	3a	55 62 64 60 62	60,6	B
D3 Umkleideraum	a	3a	76 82 80 82 78	79,6	A
	b	3a	86 83 82 88 85	84,8	A
	c	3a	64 66 68 64 69	66,2	B
D4 Anästhesieraum	a	3a	70 75 74 74 74	73,4	A
	b	3a	79 82 75 82 77	79,0	A
D5 Raum	a	3a	80 74 72 82 74	76,4	A

Tabelle 10 ,Fortsetzung

Raumbezeichnung	Strahler	Typ	Meßwerte(Skt)					Mittel-wert	Werte-bereich
D6 Operationssaal	a	3a	70	74	74	73	74	73,0	A
	b	3a	66	80	78	71	77	74,4	A
	c	3a	74	78	72	74	75	76,6	A
	d	3a	70	72	72	70	72	71,2	A
D7 Waschraum	a	3a	70	70	76	70	73	71,8	A
D8 Operationssaal	a	3a	70	74	72	73	74	72,6	A
	b	3a	73	74	73	74	74	73,6	A
	c	3a	67	68	66	68	68	67,4	B
	d	3a	80	78	75	78	78	77,8	A
D9 Waschraum	a	3a	72	78	78	76	78	76,4	A
	b	3a	62	73	73	72	74	70,8	A
D10 Röntgenraum	a	3a	68	72	75	71	72	71,6	A
Klinik E									
E1 Raum	a	1a	48	60	55	60	62	57,0	B
	b	1a	44	50	45	50	50	47,8	C
E2 Operationssaal	a	3c	55	59	57	55	50	55,2	B
	b	3c	49	51	40	53	50	48,6	C
	c	3c	48	47	52	45	50	48,4	C
	d	3c	52	58	56	55	57	55,6	B
E3 Operationssaal	a	1b	52	50	50	55	54	52,2	C
	b	1b	72	77	63	75	73	72,0	A
	c	1b	38	47	45	48	45	44,6	C
	d	1b	67	70	67	70	68	68,4	B
E4 Operationssaal	a	1b	40	50	45	42	46	44,6	C
	b	1b	42	34	40	40	37	38,6	C
	c	1b	58	68	72	66	70	66,8	B
	d	1b	68	70	69	68	68	68,6	B
Klinik F									
F1 Flurschleuse	a	3b	37	42	35	40	37	38,2	C
	b	3b	38	43	35	43	42	40,2	C
	c	3b	20	48	44	46	47	41,0	C
	d	3b	38	38	32	38	30	35,2	C
F2 Raum	a	3b	54	54	50	57	52	53,4	B

Tabelle 10 ,Fortsetzung

Raumbezeichnung	Strahler	Typ	Meßwerte(Skt)					Mittel-wert	Werte-bereich
F3 Operationssaal	a	3b	40	44	42	42	46	42,8	C
	b	3b	36	36	26	36	32	33,2	C
	c	3b	30	34	40	35	43	36,4	C
	d	3b	40	42	28	40	32	36,4	C
	e	3b	30	37	38	30	37	34,4	C
Klinikabteilung G									
G1 Operationssaal	a	3c	40	44	42	42	42	42,0	C
	b	3c	40	45	40	42	46	42,6	C
G2 Operationssaal	a	3b	66	73	70	70	73	70,4	A
	b	3b	65	60	59	65	59	61,6	B
	c	3b	56	56	52	56	56	55,2	B
	d	3b	56	63	58	63	64	60,8	B
G3 Operationssaal	a	3b	62	66	62	64	68	64,6	B
	b	3b	68	66	62	66	62	64,8	B
	c	3b	56	64	65	62	66	62,6	B
	d	3b	75	73	66	75	71	72,0	A
Klinikabteilung H									
H1 Operationssaal	a	3a	70	68	68	70	70	69,2	B
	b	3a	60	70	66	68	70	66,8	B
	c	3a	50	58	56	50	50	52,8	B
	d	3a	30	30	28	30	30	29,4	C
	e	3a	50	52	50	50	52	50,8	B
H2 Operationssaal	a	3b	54	55	54	54	52	53,8	B
	b	3b	61	60	60	61	63	61,0	B
	c	4c	70	50	68	70	58	63,2	B
	d	3b	63	77	74	64	76	68,8	B
Intensivstation I									
I1 Raum	a	3b	62	63	62	64	63	62,8	B
I2 WC-Dusche	a	3b	80	82	85	85	85	83,4	A
	b	3b	85	85	84	82	81	83,4	A
I3 Spülraum	a	3b	85	66	86	83	83	80,6	A
	b	3b	85	86	86	88	86	86,2	A

Tabelle 10 ,Fortsetzung

Raumbezeichnung	Strahler	Typ	Meßwerte(Skt)					Mittel-wert	Werte-bereich
I4 Sterilisationsraum	a	3b	63	68	74	74	70	69,8	B
	b	3b	66	68	72	72	68	69,2	B
I5 Geräteraum	a	3b	72	73	76	78	74	74,6	A
	b	3b	75	76	79	78	78	77,2	A
	c	3b	80	84	84	80	80	81,6	A
I6 Bad	a	3b	70	70	70	71	70	70,2	A
	b	3b	70	75	76	74	74	73,8	A
I7 Patientenzimmer	a	3b	60	63	61	60	61	61,0	B
	b	3b	67	69	68	65	68	67,4	B
I8 Spülraum	a	3b	51	52	52	50	59	52,0	B
I9 Patientenzimmer	a	3b	90	90	88	90	89	89,4	A
	b	3b	84	85	84	85	85	84,6	A
I10 Patientenzimmer	a	3b	52	54	58	58	55	55,4	B
	b	3b	52	52	47	53	52	51,2	B
I11 Flur	a	3b	45	47	49	51	50	48,4	C
	b	3b	53	55	55	56	57	55,2	B
I12 Flur	a	3b	73	71	75	75	70	72,8	A
	b	3b	73	70	75	73	72	72,6	A
I13 Umkleideraum	a	3b	31	30	31	30	30	30,4	C
	b	3b	68	62	68	71	68	67,4	B
	c	3b	64	65	65	63	65	64,4	B
	d	3b	34	34	34	32	34	33,6	C
Klinikabteilung K									
K1 Anästhesieraum	a	3a	66	66	63	63	67	65,0	B
	b	3a	65	63	63	63	62	63,2	B
	c	3a	64	67	66	64	60	64,2	B
K2 Waschraum	a	3a	62	66	68	66	66	65,6	B
	b	3a	62	66	62	62	64	63,2	B
K3 Operationssaal	a	3a	61	65	62	64	62	62,8	B
	b	3a	60	60	58	59	57	58,8	B
	c	3a	58	62	61	61	62	60,8	B
	d	3a	57	58	57	57	59	57,6	B

Tabelle 10 ,Fortsetzung

Raumbezeichnung	Strahler	Typ	Meßwerte(Skt)					Mittel-wert	Werte-bereich
K4 Operationssaal	a	3a	86	92	86	91	92	89,4	A
	b	3a	86	90	88	88	88	88,0	A
	c	3a	92	96	96	98	98	96,0	A
	d	3a	93	94	94	96	94	92,2	A
Klinik L									
L1 Eingangsschleuse	a	3a	75	74	70	74	72	73,0	A
	b	3a	72	72	70	74	72	72,0	A
L2 Vorbereitungsraum	a	3a	80	81	78	80	82	80,2	A
L3 Anästhesieraum	a	3a	78	82	84	82	84	82,0	A
L4 Operationssaal	a	3a	78	82	78	82	82	80,4	A
	b	3a	80	78	75	78	78	77,8	A
	c	3a	73	79	74	76	79	76,2	A
L5 Waschraum	a	3a	84	82	80	84	81	82,2	A
L6 Operationssaal	a	3a	78	80	64	78	78	75,6	A
	b	3a	70	80	73	77	79	75,8	A
	c	3a	77	80	80	78	82	79,4	A
L7 Operationssaal	a	3a	78	79	77	78	78	78,0	A
	b	3a	83	85	85	85	85	84,6	A
	c	3a	81	83	85	81	83	82,6	A
L8 Waschraum	a	3a	79	79	84	79	82	80,6	A
L9 Anästhesieraum	a	3a	76	80	82	77	75	78,0	A

4. BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

4.1 Bewertung der räumlichen Messungen

Die UV-Bestrahlung eines Raumes sei gut, wenn mehr als 50% der Meßwerte im Wertebereich I ($\geq$ 34 µWatt/cm^2) liegen oder mehr als 80 % der Meßwerte in Wertebereich I und II zusammen ($\geq$ 7 µWatt/cm^2) liegen.

Wird diese Forderung an die Meßwerte der räumlichen Messungen (vergleiche Tabelle 9) gestellt, so ergibt sich Tabelle 11.

Tabelle 11
Verteilung der Werte der räumlichen Messungen in den Wertebereichen I und II .

Raumbezeichnung	Zahl der Meßwerte (in % der Gesamtzahl) in den Wertebereichen		
	I	II	I und II
A1 Flur	67	23	90
A2 Arztzimmer	55	30	85
A3 Labor	12	66	78
A4 Labor	entfällt-		-
A5 Labor	18	81	99
A6 Labor	50	50	100
B1 Operationssaal	7	64	71
B2 Operationssaal	21	67	88
B3 Operationssaal	18	79	97
B4 Operationssaal	22	54	76
C1 Flur	98	2	100
C2 Personenschleuse	94	6	100
C3 Materialschleuse	97	3	100
C4 Flurschleuse	53	47	100
C5 Flur	66	34	100
C6 Arbeitsraum	90	9	99

Von den 15 beurteilten Räumen mit Ganzraumbestrahlung erfüllen 12 die Forderung, daß mehr als 50% der Meßwerte in Bereich I ($\geq$ 34 μWatt/cm^2) oder mehr als 80 % der Meßwerte in Bereich I und II ($\geq$ 7 μWatt/cm^2) liegen müssen. Drei Räume erfüllen diese Forderung nicht: A3Labor, B1 Operationssaal und B4 Operationssaal. In Raum A3 brannte ein Strahler nicht, beide waren exzentrisch, nahe der Stirnwand des Raumes, angebracht. In Raum B1 OP waren beide Strahler überaltert. Der Volumen-Strahler-Index lag in Raum B1 und B4 bei 38 .

4.2 Bewertung der Bestückung

Original Hanau(ohne Jahr,d) empfiehlt für die Bestückung: Beim Einsatz von Strahlereinheiten zur Ganzraumbestrahlung soll davon ausgsgangen werden, daß pro 30 m^3 Raum ein UV-Strahler (NN 30/89) erforderlich ist. Dies entspricht einem Volumen-Strahler-Index von 30 .
Die Direktmessungen der anderen untersuchten Strahler (Typ 3a,3b,3c,4b,4c) ergaben Bestrahlungsstärken in der gleichen Größenordnung wie bei NN30/89 (Typ 4a). Für die Berechnung des Volumen-Strhler-Index wird daher nicht zwischen ihnen unterschieden.
Für die Räume mit den Kurzstrahlern (Typ 1a,1b,2a) wird kein Volumen-Strahler-Index berechnet. Es handelt sich um die Räume C9,C10,E1,E3,E4 .
Für die restlichen Räume mit 30 Watt-Strahlern ergibt sich die Einteilung nach Tabelle 12 .

Tabelle 12
Volumen-Strahler-Index in den untersuchten Räumen (mit 30 Watt-Strahlern).

kleiner als 20	20 bis 30	30 bis 40	40 bis 50	über 50
A1,A2,A6,	A3,A4,A5	B1,B4	B2,B3	-
C1,C2,C3,	-	-	-	-
C4,C5,C6,	-	-	-	-
C7,C8,	-	-	-	-
D2,D3,D7	D1,D4,D8	D6	D5	-
-	D9,D10	-	-	-
G2,G3	G1,F3	E2	-	F2
-	H1,H2	-	-	-
I2,I3,I4,	I5,I6,I8	I10	I7	I1,I9
I11,I12,I13	-	-	-	-
K2	K1,K3,K4	-	-	-
L1	L4,L6,L7,	L2,L3,L9	L5	-
-	L8	-	-	-

Räume, in denen die Strahler die Funktion eines Strahlenvorhangs haben, können überhaupt nicht nach dem Volumen-Strahler-Index beurteilt werden. Es handelt sich um folgende Räume: C4 Flurschleuse, D1 Flur, D2 Umkleideraum, D3, Umkleideraum, D4 Anästhesieraum, F2 Raum, K1 Anästhesiraum, L1 Eingangsschleuse .

Die Bestückung der einzelnen Räume mit UV-Strahlern zeigt teils gute, teils mangelhafte technische Lösungen. Beispiele einer gleichmäßigen Verteilung und guten Ausstattung mit UV-Strahlern sind die Räume A1 Flur, C1 Flur, C2 Personenschleuse, C3 Materialschleuse, F3 Operationssaal, G2 Operationssaal, G3 Operationssaal, H1 Operationssaal .

Raum A2, ein Arztzimmer mit Bücherregal und Tisch hätte, wenn überhaupt, einen UV-Strahler höchstens über der Tür als Strahlenvorhang nötig.

In den Räumen A3 Labor,A4 Labor,A5 Labor und A6 Labor sind die Strahler so angeordnet,daß vor allem die Tischplatten als Arbeitsflächen intensiv bestrahlt werden. Die räumlichen Messungen zeigen,daß dies sichergestellt ist. In den Räumen A3,A5 und A6 war sogar die Gesamtraumbestrahlung noch ausreichend,da mehr als 75% der Meßwerte über 7 μWatt/cm^2 lagen. In Raum A4 entstehen durch mehrere Geräte und Schränke sehr große Schattengebiete,in denen die UV-Intensität auf 0 absinkt.

In Raum B2 Operationssaal ergibt eine ungewöhnliche, unsymmetrische Strahleranordnung eine ungleichmäßige Intensitätsverteilung.

C9 und C10 sind Schleußenkästen für hochinfektiöses Material und deshalb mit den Räumen nicht vergleichbar. Sie fallen durch sehr hohe Bestückung und intensive UV-Bestrahlung auf.

Raum D6 ist ein Operationssaal mit Laminar Air Flow und vermutlich deshalb mit UV-Strahlern etwas sparsam bestückt (Volumen-Strahler-Index 36).

Die Räume E1 Raum,E3 Operationssaal und E4 Operationssaal sind trotz der großen Raumhöhe (über 350 cm) mit Kurzstrahlern(Typ 1a und 1b) ausgestattet.

Raum I1 dient als Versammlungsraum.Ein UV-Strahler ist,wenn überhaupt,als Strahlenvorhang über der Tür zu empfehlen.

Raum I9 ist ein Patientenzimmer.Die Strahler waren klebrig belegt.Ein Schlüssel,um sie einzuschalten, konnte vom Personal erst nach längerem Suchen gefunden werden.Die Strahler wurden offenbar selten benutzt (Volumen-Strahler-Index 55).

Raum L5 dient als Waschraum und zur Vorbereitung der Ärzte vor Operationen.Er ist mit einem Strahler (Volumen-Strahler-Index 41) spärlich bestückt.

Nimmt man als Grenze für eine ausreichende Bestückung mit 30 Watt-Strahlern den Volumen-Strahler-Index von 30 so findet man die Verteilung der Räume nach Tabelle 13.

Tabelle 13
Zusammenstellung der Räume nach dem Volumen-Strahler-Index.

Klinik oder Institut	Anzahl der Räume mit einem Volumen-Strahler-Index von	
	kleiner gleich 30	größer als 30
A	6	-
B	-	4
C	8	-
D	8	2
E	-	1
F	1	(1)
G	3	-
H	2	-
I	9	4
K	4	-
L	5	4
Summe	46	16

Für 62 Räume wurde der Volumen-Strahler-Index bestimmt. Bei 46 Räumen (73%) war er kleiner gleich 30, bei 16 Räumen (27%) größer als 30.

4.3 Bewertung der Alterung

Die Meßwerte für die Direktmessungen wurden in drei Bereiche (A=Werte über dem geforderten Neuwert, B=Werte in den geforderten Grenzen, d.h. zwischen Neuwert und Mindestwert und C=Werte unter dem geforderten Mindestwert) eingeteilt (vergleiche Methodik, S. 7 ff.) und in Tabelle 14 zusammengestellt.

Tabelle 14
Einteilung der UV-Strahler nach der Alterung

Klinik oder Institut	Anzahl der Strahler in den Bereichen A	B	C
A	2	6	4
B	1	4	3
C	26	-	1
D	19	5	-
E	1	6	7
F	-	1	9
G	2	6	2
H	-	8	1
I	13	11	3
K	4	9	-
L	16	-	-
Summe	84	56	30

Von den 170 untersuchten Strahlern waren somit 84 (49,5%) neuwertig, 56 (33%) noch gebrauchsfähig und 30 (17,5 %) überaltert, das heißt erneuerungsbedürftig.

4.4 Fehlerdiskussion

Fehler bei der Messung der Bestrahlungsstärken in Räumen mit Ganzraumbestrahlung:

Fehler können bedingt sein durch das Meßgerät, die Methodik, den Untersucher.

Bei der Messung der Spektrallinie von 254 nm werden benachbarte Linien mit erfaßt (vergleiche Abb. 4 , S. 8). Dieser Fehler erscheint gering.

Vorausgesetzt wird eine lineare Beziehung zwischen Bestrahlungsstärke und Zeigerausschlag des Meßinstruments. Beide Fehler werden zusammen auf $\pm 1{,}5$ μWatt/cm^2 geschätzt.

Der Ablesefehler (Parallaxefehler) wird auf etwa $\pm$ 1/2 Skalenteil (rund $\pm 1{,}5$ μWatt/cm^2) geschätzt.

Ein weiterer Fehler kommt zustande, wenn mehrere Strahler das Meßgerät gleichzeitig beeinflussen und sich die Strahlungsintensität an einem Punkt aus verschiedenen Anteilen zusammensetzt. Der Meßkopf erfaßt aber die Strahlen aus verschiedenen Richtungen nicht gleichmäßig (Abb. 3, S. 8). Für die Beurteilung von unter einem Winkel phi einfallender Strahlung gilt das Lambert'sche Cosinusgesetz (Meyer et al., 1949):

Eine Strahlung, die unter einem Winkel phi zur Normalen auf eine Fläche fällt, trifft mit dem mit cosinus phi zu multiplizierenden Wert d e r Intensität auf, die sie bei senkrechtem Auffallen hätte.

Wie aus dem Schaubild der Winkelabhängigkeit der Strahlungsintensität (s. Abb. 3, S. 8) hervorgeht, verläuft die Kurve für die Strahlungsintensität ähnlich wie die Kurve für cosinus phi. Im Bereich von 50° ist die Abweichung am größten und zwar etwa 35 % unter den Wert für cosinus phi. Da das Meßgerät stets in die Richtung der maximal erreichbaren Intensität gehalten wurde, wirkt sich der Fehler nur in einer Hinsicht aus.

Es wurden geringeres,nicht aber überhöhte Werte gemessen. Dies bedeutet einen Sicherheitsfaktor,da die tatsächlichen Werte beim Vorhandensein von mehreren Strahlern über den gemessenen liegen.

Das Problem der Messung bei 2 oder mehr Strahlern ist aber nicht im ganzen Raum wichtig,sondern spielt vor allem eine Rolle in der Mitte zwischen 2 Strahlern oder in der Nähe eines Strahlers.

Ein Bakterium,das auf einem Staubpartikel sitzt,ist allerdings auch bei Rotation im Allgemeinen nur einer, nicht mehreren (entgegengesetzten) Strahlenquellen gleichzeitig ausgesetzt.

Fehler am Raumpunkt.

Durch die relativ grobe Bestimmung eines Meßpunktes im Raum mit Senklot und Maßband dürfte mit Fehlern von maximal ± 10 cm in der Horizontalen und mit ± 5 cm in der Vertikalen zu rechnen sein.Sie wirken sich aber nicht gleichmäßig aus. In unmittelbarer Nähe eines Strahlers oder am Übergang von Licht und Schatten können 10 cm Verschiebung des Meßgeräts oder auch geringe Abweichungen der Meßgerätachse aus der Richtung zum UV-Strahler zwar eine große Änderung des Meßwertes bedingen.(maximal geschätzter Fehler ±10 Skalenteile, also etwa ± 10 µWatt/cm^2) jedoch fällt dieser Fehler in Strahlernähe kaum ins Gewicht,da hier die Werte oberhalb der höchsten geforderten Stufe liegen. In Strahlerferne (ab 3-5m Abstand) bedingen Abweichungen von ± 10 cm oder Winkelfehler von ± 5° nur geringe Meßfehler von etwa ± 2,0 µWatt/cm^2.
Es kommen also die folgenden Fehler zusammen kommen:

Verfehlen durch zu schwache Spektrallinien,sowie nicht linearer Zeigerausschlag ± 1,5 µWatt/ cm^2.
Ablesefehler ± 1,5 µWatt/cm^2.
Fehler beim Messen von 2 oder mehreren Strahlern, Meßpunkte in Strahlerferne,nicht an der Licht-Schatten-Grenze + 2,0 µWatt/cm^2.

Fehler durch ungenaues Bestimmung des Raumpunktes, Strahlerferne $\pm$ 2,0 μWatt/cm^2.
Insgesamt dürften die Meßwerte maximal mit einem Fehler von +7 μWatt/cm^{2}und - 5 μ Watt/cm^2 behaftet sein.

Fehler bei der Direktmessung der Strahler.
Durch die beiden Vorsätze läßt sich das Meßgerät gleichmäßig und senkrecht und mit definiertem Abstand und Öffnungswinkel auf den UV-Röhren aufsetzen.
Meßfehler werden auf höchstens $\pm$ 1/2 Skalenteil geschätzt.
Ein zusätzlicher Fehler,auf höchstens $\pm$2Skt. geschätzt, kann durch unterschiedliche Haltung zu einem Reflektor zustande kommen.
Dazu kommen noch,wie bei der räumlichen Messung Meßfehler durch benachbarte Spektrallinien und nicht linearen Zeigerausschlag ($\pm$1/2 Skt.) und Ablesefehler ($\pm$ 1 Skt.),so daß mit einem Gesamtfehler von maximal $\pm$ 4 Skalenteilen gerechnet werden kann.
Eine Mittelung des Fehlers der Direktmessung erfolgt dadurch,daß über die Länge des Strahlers,etwa gleichmäßig verteilt 5 Meßwerte ermittelt wurden.Damit wird auch einem Fehler begegnet,der durch ungleiche Verteilung der UV-Ausstrahlung über die Länge des Strahlers entsteht.

4.5 Beantwortung der Einleitungsfragen

Abschließend lassen sich auf die in der Einleitung gestellten Fragen folgende Antworten geben:

1. Welche UV-Intensitäten wurden in Räumen mit direkter Ganzraumbestrahlung gemessen?

In allen 15 daraufhin untersuchten und beurteilten Räumen waren jeweils mindestens 70% aller Meßwerte größer gleich 7 μWatt/cm^2, in 12 der 15 Räume waren mehr als 80% der Meßwerte größer gleich 7 μWatt/cm^2.

2. Wie sind die untersuchten Räume mit UV-Strahlern ausgestattet?

Wird als Kriterium der Volumen-Strahler-Index für 30 Watt-Strahler herangezogen, so hatten von den 62 untersuchten Räumen 46 einen Index kleiner oder gleich 30 und 16 von mehr als 30.

3. Welchen Leistungsabfall zeigten die UV-Strahler durch Alterung?

Von den 170 untersuchten Strahlern waren 84 (49,5%) über dem verlangten Neuwert, 56 (33%) noch gebrauchsfähig und 30 (17,5%) überaltert, das heißt erneuerungsbedürftig.

4.6 Überlegungen und Vorschläge

Für die Ganzraumbestrahlung ohne anwesende Personen empfiehlt die Firma Original Hanau (ohne Jahr,d) pro 30 m^3 eine Strahlereinheit(mit NN 30/89 Strahler) zu verwenden.Damit werden nach den vorliegenden räumlichen Messungen ausreichend hohe UV-Intensitäten erreicht. (Ein Volumen-Strahler-Index von 20 bedeutet erhöhte Sicherheit).

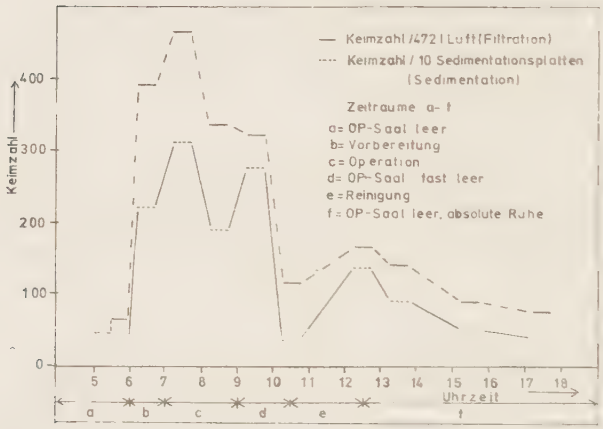
Für die Anordnung der Strahler kann empfohlen werden:
1.Montage der Strahler im Raum paarweise gegeneinander. Dadurch werden Schattenräume möglichst klein gehalten. Gleichmäßige und symmetrische Verteilung der Strahler im Raum bewirkt eine relativ gleichmäßige Verteilung der UV-Intensitäten.
2.Andererseits sollen die Strahler bevorzugt über voraussichtlich stark keimhaltigen Bereichen befestigt werden,d.h. über Operationstischen,über dem Luftaustritt der Lüftung,über dem Arbeitsplatz im Labor, über Türen und Eingängen.

Reflektoren an den UV-Strahlern verführen zum Abschirmen der Strahler.Sie schränken bei Ganzraumbestrahlung den Austrittswinkel ein und bilden zusätzliche Schattenräume,verstärken allerdings die Strahlung in einen bestimmten Raumwinkel.

Gläserne Abdeckplatten vor UV-Strahlern sollen vor dem Verstauben schützen,bewirken allerdings Strahlungsverluste durch Absorption.(Cave:Normales Fensterglas läßt fast keine UV-Strahlung hindurch treten,vergl. Original Hanau,ohne Jahr,b).

Überlegungen zur Einschaltzeit und Dauer.
In einem unbestrahlten Raum sind die Keimzahlen in der Luft vor der Benutzung des Raumes sehr gering,während der Benutzung am höchsten,sie sinken nach der Benutzung wieder ab(siehe Abb. 143 , nach Naumann,1961).

Abb. 143 Zeitlicher Verlauf des Keimgehaltes der Luft in einem Operationssaal (verändert nach Naumann,1961).



Wünschenswert wäre aber gerade ein Minimum der Keimzahl während der Benutzung oder der Exposition von Patienten. Daher sollten die Keimzahl mindernde Maßnahmen während der Benutzung besonders aktiv betrieben werden.

Die direkte Ganzraumbestrahlung während Operationen hat sich allerdings bisher kaum durchgesetzt.(Ausnahmen sind z.B. Hart ,1936 und Goldner et al.,1973). Sie erfordert einschränkende Schutzmaßnahmen beim Personal (Brillen,Helme,UV-Schutzcremes,Schutzkleidung u.ä.). Die Bestrahlung des Luftraumes oberhalb der Augenlinie ist möglich,aber nicht so effektiv.

Der nächste wichtige Zeitabschnitt zur UV-Bestrahlung folgt direkt nach der Benutzung,d.h. bei noch hohem Keimpegel,noch verstärkter Ventilation und noch geringer Keimsedimentation.

Auch sedimentierte Keime können noch abgetötet werden, allerdings nur dann,wenn sie oberflächlich liegen und den Strahlen ausgesetzt sind.

Für Einschaltzeit und Dauer wird daher vorgeschlagen:

1.Die Ganzraumbestrahlung während der Benutzungszeit erfordert zu einschränkende Schutzmaßnahmen,ist daher unrealistisch.Stattdessen sollte der Luftraum oberhalb der Augenlinie bestrahlt werden.

2.Bestrahlung des ganzen Raumes direkt nach der Benutzung für 3-6 Stunden mit hohen Intensitäten während der beginnenden Sedimentierung der Luftkeime.

3. Bestrahlung über Nacht,wenn der Raum den ganzen Tag genutzt wurde,sonst keine nächtliche Bestrahlung.

Vor einer Raumausstattung mit UV-Strahlern sind folgende Punkte zu überdenken:

1.Überlegungen vor der Montage.Wie hoch sind die Anforderungen an die Keimarmut,mit welcher Luftkeimverschmutzung ist zu rechnen?Wo soll die stärkste Desinfektionswirkung erreicht werden?Ist die Ausstattung mit umklappbaren Strahlern für die wahlweise Bestrahlung des Luftraums oberhalb der Augenlinie und für die Ganzraumbestrahlung erwünscht?

2.Zweckmäßiger Betrieb. Es empfiehlt sich die teilweise Bestrahlung bei Anwesenheit von Personen,die Ganzraumbestrahlung sofort nach der Benutzung für 3-6 Stunden. anzuwenden.

3.Kontrollen. Die Röhren sind nach 8ooo bis 9ooo Betriebsstunden und nicht erst nach dem Totalausfall auszutauschen.Kontrollen der Bestrahlungsstärke mit dem Steritestgerät(durch den Kundendienst oder den Krankenhaushygieniker) sind zu empfehlen.

4. Keine Überbewertung der Wirkung.Mit UV-Strahlung wird keine Sterilität erreicht.Keime im Strahlenschatten oder in Staubpartikeln werden nicht geschädigt.Sporen sind erheblich resistenter als vegetative Formen.Viele Keime können UV-Strahlenschäden durch Fotoreaktivierung beheben (Wienhard,1977).

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die Intensität ultravioletter Strahlung zur Luftentkeimung wurde mit dem UV-C Meßgerät Steritest gemessen, das aus dem Linienspektrum von Quecksilberniederdrucklampen im Wesentlichen die Resonanzlinie um 254 nm erfaßt. Es wurden räumliche Intensitätsmessungen durchgeführt und der Abfall der UV-Strahlungsleistung durch Alterung der Strahler kontrolliert.

Für eine rund 90% ige Abtötung vieler Keime sind Dosen von etwa 4000 µWatt sek/cm^2 bis etwa 20 00 µWatt sek/cm^2 nötig (Ehrismann et al.,1932, Luckiesh et al.,1949,Wienhard,1977).Bei einer Intensität von 7 µWatt/cm^2 werden diese Dosen in weniger als 10 Minuten bis weniger als einer Stunde erreicht.In allen 15 bewerteten Räumen mit direkter Ganzraumbestrahlung befanden sich mindestens 70% aller Meßwerte bei oder über 7 µWatt/cm^2.

Ein weiteres Kriterium der Raumbestückung war der Volumen-Strahler-Index.Er sollte unter 30 für eine Strahlereinheit (mit Strahler NN30/89)liegen. Von den 62 beurteilten Räumen erfüllen 46 (73%) diese Forderung, 16 (27%) nicht.

Die Messungen zur Alterung der Strahler ergaben: Von den 170 untersuchten Strahlern waren 84 (49,5%) über den verlangten Neuwerten,56 (33%) noch gebrauchsfähig und 30 (17,5%) überaltert,d.h.erneuerungsbedürftig.

SUMMARY

The intensity of ultraviolet radiation for the purpose of sterilising the air was measured with the ultraviolet measuring device Steritest,which seizes essentially the resonance line at about 254 nm out of the line spectrum of a mercury low pressure lamp. The intensity in specific areas was measured and the fall in the efficiency of the ultraviolet radiation by ageing of the emitters was controlled.

Doses of approx. 4000 μWatt sec/cm^2 to approx. 20 000 μWatt sec/cm^2 are necessary in order to eliminate about 90% of germs of various kinds (Ehrismann et al.,1932,Luckiesh et al.,1949, Wienhard, 1977).At an intensity of 7 μWatt/cm^2 these doses were achieved in from 10 minutes to under an hour. In all 15 measured rooms with direct irradiation of the whole room at least 70 % of all values recorded were at or above 7 μWatt/cm^2.

A further criterion for the equipment of rooms was the volume -emitter-index.It should be under 30 for one unit of radiation (with an emitter typNN 30/89). Of the 62 rooms assessed 46 (73%) accomplish this demand, 16 (27 %)don't.

Out of the measurement for the ageing of the emitters resulted: Of the 170 emitters that were examined 84 (49,5%) were above the required new values,56 (33 %) were usable and 30 (17,5%) grown obsolete,that means they should be renewed.

6. LITERATUR

Anderson,W.T.,Jr.:
Ultraviolet sanitary ventilation.
Air conditioning heating and ventilating 44,
63 -68 (1947).

Council on physical therapy:
Ultraviolet lamps for disinfecting purposes.
J.Amer.med.Ass. 123 ,92-93 (1943).

Ehrismann,O. und W. Noethling:
Über die bactericide Wirkung monochromatischen
Lichtes. Z.Hyg.Infekt.-Kr. 113, 597-628 (1932).

Goldner,J.L. and B.L. Allen,Jr.:
Ultraviolet light in orthopedic operating
rooms at Duke University.
Clin.Orthop. 96, 195-205 (1973).

Hart,D.:
Sterilization of the air in the operating
room by special bactericidal radiant energy.
J.thorac.Surg. 6, 45-81 (1936).

Köchel,F.:
Neuere Erkenntnisse über Raum- und Luft-
desinfektion bei der Herstellung steriler
Arzneimittel.
Pharm.Ztg.(Frankfurt)90,548-552 (1954).

Kommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher
Arbeitsstoffe:
Mitteilung IV vom 7.Juli 1970.
Bonn-Bad Godesberg:Deutsche Forschungs-
gemeinschaft 1970.

Luckiesh,M.,A.H.Taylor,T.Knowles and
E.T.Leppelmeier:
Inactivation of molds by germicidal
ultraviolet energy.Journal of the Franklin
Institute 248, 311-325 (1949).

Meyer,A.E.H. und E.O.Seitz :
Ultraviolette Strahlen.
Berlin:de Gruyter 1949 .

Naumann,P.:
Bakteriologische Gesichtspunkte beim
Hospitalismus.Münch.med.Wschr. 103,
659-662 (1961).

Original Hanau :
a) Bedienungsanleitung für das Steritest-
Gerät zur Messung von Bestrahlungsstärken
im kurzwelligen Ultraviolett-Bereich.
Ohne Verfasser,ohne Jahr.
b) Das Sterisol-Verfahren.
Ohne Verfasser,ohne Jahr.
c) Beilageblatt zum Steritest-Gerät 41.
Ohne Verfasser,ohne Jahr.
d) Sterisol.
Ohne Verfasser,ohne Jahr.

Dr.Osterhammel:
Persönliche Mitteilung vom 14.Nov.1973.

Roemer,G.B.:
Desinfektion und Sterilisation.
In:Grumbach,A.,W.Kikuth und O.Bonin:
Die Infektionskrankheiten des Menschen und
ihre Erreger.Stuttgart:Thieme 1969.

Schulze,R.,J.Kiefer:
Allgemeine Einführung und Grundbegriffe.
In: Ultraviolette Strahlen,hrsg. von
J.Kiefer.Berlin,New York:de Gruyter 1977.

Wallhäußer,K.H. und H.Schmidt:
Sterilisation-Desinfektion,Konservierung,
Chemotherapie.Stuttgart: Thieme 1967.
Wienhard,I.:
Desinfektion und Sterilisation durch
ultraviolette Strahlung.
In:Ultraviolette Strahlen,hrsg.von J.Kiefer.
Berlin,New York:de Gruyter 1977.

Lebenslauf

Am 14.April 1947 wurde ich,Theodor Müller,in Ballendorf Kreis Ulm geboren,als zweiter Sohn des Pfarrers Maximilian Müller und seiner Ehefrau Sophie,geborene Raster.

Am 5. Oktober 1966 bestand ich am Hellensteingymnasium in Heidenheim die Reifeprüfung.

Seit dem Wintersemester 1966/67 studierte ich das Fach Biologie in Tübingen.Zwischenprüfung am 24.2.1969, Diplomvorprüfung am 15.4.1969.

Vom Sommersemester 1969 an belegte ich im Fach Humanmedizin und bestand die Ärztliche Prüfung am 17.Juli 1975.

Seither war ich Medizinalassistent an verschiedenen Instituten und Kliniken in Tübingen,zuletzt am Pathologischen Institut der Universität Tübingen.

Tübingen,1977,Theodor Müller.

difo-druck · 8600 bamberg
untere königstraße 30